



Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Dina Rnjak

UTJECAJ MIKROKLIME NA AKTIVNOST ŠIŠMIŠA U DALMACIJI

DOKTORSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Oleg Antić

Zagreb, 2026.



Sveučilište u Zagrebu

Faculty of Science

Department of Biology

Dina Rnjak

THE IMPACT OF MICROCLIMATE ON BAT ACTIVITY IN DALMATIA

DOCTORAL DISSERTATION

Mentor:

Prof. Oleg Antonić, PhD

Zagreb, 2026

Ovaj je doktorski rad izrađen na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu, pod vodstvom prof. dr. sc. Olega Antonića, u sklopu Sveučilišnog poslijediplomskog dokorskog studija Biologije pri Biološkom odsjeku Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

ZAHVALE

Zahvaljujem članovima Povjerenstva na vremenu koje su uložili u pregled ove disertacije te na konstruktivnim komentarima i prijedlozima koji su pridonijeli njezinoj kvaliteti.

Veliko hvala Olegu Antoniću i Danieli Hamidović, koji su me tijekom godina neprestano poticali da pomičem vlastite granice te vjerovali u mene više nego što sam sama vjerovala.

Istraživanje šišmiša za mene je oduvijek bilo timski posao. Zato će posebno mjesto u mom srcu uvijek imati ljudi s kojima sam kroz godine uživala raditi i istraživati šišmiše. Gorane, Vida, Nikola, Stipe, Dino, Magdalena, Ela, Lovro, Hrvoje i Paula, dio rezultata ove disertacije pripada i vama, makar samo zato što ste proveli sate pregledavajući snimke. Hvala Vidi i Nikoli, s kojima su započeli moji prvi koraci u istraživanjima koja su prerasla u ovu disertaciju, kao i svima koji su mi pomogli da je završim više od deset godina kasnije. Magdaleni hvala na neumornoj energiji, radu i podršci, Hrvoju na vječnoj spremnosti pomoći, a posebno Goranu, Stipi i Dinu koji su uz sve to još i neumorno postavljali, mijenjali i skidali mikrofone na mjernim stupovima.

Hvala Karli Čmelar na podršci, ohrabrenju i pomoći pri prvim obradama podataka za potrebe prijave teme te Marku Glogoškom na korisnim savjetima.

Vječitu zahvalnost dugujem Marini Kipson, koja me još tijekom studentskih dana pozvala u BIUS-ovu sekciju za šišmiše. Na taj sam poziv pristala ponajprije zato što je bila srdačna i draga, ne sluteći da će upravo taj trenutak odrediti moj profesionalni i privatni životni put.

Od srca zahvaljujem prijateljima i kolegama, a posebno hvala Hrvoju Peternelu, Eleni Patčev i Maji Maslač Mikulec, koji su me bodrili, tješili i pokušavali rasteretiti drugih opterećenja na poslu. Majo, tebi posebno hvala za svaki trenutak kada mi nisi dopustila da odustanem i za sve savjete koji su pridonijeli kvaliteti ove disertacije.

Gorane, hvala ti na rekordnom broju penjanja i spuštanja po stupovima, na svekolikim spajanjima i prespajanjima žica, strujnih krugova, solarnih panela i akumulatora te na tehničkim rješenjima i domišljatostima bez kojih bi ovo istraživanje bilo nemoguće. Još više od toga, hvala ti što si moj partner u svakom smislu te riječi – u poslu i u životu. Hvala ti na neizmornoj podršci, snazi i vjeri u mene kada je meni samoj ponestajalo. Hvala i našoj djeci, Jakovu i Sonji, koji me svakoga dana podsjećaju što je u životu doista važno.

Zahvaljujem i cijeloj svojoj velikoj obitelji na ljubavi i podršci, a na samom kraju želim zahvaliti Žarku. Riječ „svekar“ nikada nije mogla opisati ono što mi je bio u životu tijekom gotovo četrnaest godina koliko smo se poznavali. Bio mi je bezuvjetna podrška, iskreno vjerovao u mene i radovao se svakom mom uspjehu. Vjerujem da bi danas bio ponosan što sam ovaj put privela kraju, kao što je bio ponosan kada sam na njega krenula. Ove posljednje riječi zahvale pripadaju njemu, s ljubavlju i zahvalnošću.

UTJECAJ MIKROKLIME NA AKTIVNOST ŠIŠMIŠA U DALMACIJI

DINA RNJAK

Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb

Ponašanje insektivornih šišmiša određeno je nizom ekoloških čimbenika, među kojima mikroklimatski uvjeti mogu utjecati na učinkovitost leta, eholokaciju i dostupnost plijena. Istraživanje u ovom radu temelji se na kontinuiranom praćenju njihova glasanja i istodobnim mikroklimatskim mjerenjima. Multivarijantnim modelima kao ključni prediktori potvrđeni su temperatura zraka, s pozitivnim učinkom, i brzina vjeta, s negativnim učinkom na aktivnost šišmiša. Relativna vlažnost i atmosferski tlak pokazuju složenije odnose, dok deskriptivni rezultati upućuju na negativan učinak oborina. Aktivnost je dodatno oblikovana sezonskom i noćnom dinamikom, s izraženijom aktivnošću krajem ljeta i u ranijim noćnim satima. Rezultati istraživanja ukazuju na razliku između čimbenika koji utječu na pojavu aktivnosti i njezin intenzitet, pri čemu je intenzitet znatno varijabilniji i osjetljiviji na trenutačne mikroklimatske uvjete te povezan s većom nesigurnošću procjene. Dobiveni rezultati predstavljaju važan doprinos razumijevanju utjecaja mikroklimе na aktivnost šišmiša u mediteranskoj regiji te pružaju znanstvenu osnovu za primjenu u očuvanju prirode.

(184 stranice / 73 slike / 33 tablice / 131 literaturni navod / jezik izvornika: hrvatski)

Ključne riječi: šišmiši, mikroklima, aktivnost, multivarijantni modeli, Mediteran

Mentor: prof. dr. sc. Oleg Antić

Ocjenjivači: prof. dr. sc. Perica Mustafić

dr. sc. Jelena Bujan, znanstvena suradnica

prof. dr. sc. Marko Čaleta

University of Zagreb

Doctoral thesis

Faculty of Science

Department of Biology

THE IMPACT OF MICROCLIMATE ON BAT ACTIVITY IN DALMATIA

DINA RNJAK

Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb

Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb

The behaviour of insectivorous bats is shaped by a range of ecological factors, among which microclimatic conditions can influence flight efficiency, echolocation, and prey availability. This study is based on continuous acoustic monitoring with simultaneous microclimatic measurements. Multivariate models identified air temperature, with a positive effect, and wind speed, with a negative effect, as key predictors of bat activity. Relative humidity and atmospheric pressure show more complex relationships, while descriptive results indicate a negative effect of precipitation. Activity is further shaped by seasonal and nocturnal dynamics, with higher activity in late summer and during the early night hours. The results indicate a difference between factors influencing the occurrence of activity and its intensity, with intensity being considerably more variable and more sensitive to current microclimatic conditions, associated with greater uncertainty in estimation. The findings provide an important contribution to understanding the influence of microclimate on bat activity in the Mediterranean region and offer a scientific basis for applications in nature conservation.

(184 pages / 73 figures / 33 tables / 131 references / original in: Croatian)

Keywords: bats, microclimate, bat activity, multivariate models, Mediterranean

Supervisor: Prof. Oleg Antonić, PhD

Reviewers: Prof. Perica Mustafić, PhD

Jelena Bujan, PhD, Research Associate

Prof. Marko Čaleta, PhD

ŽIVOTOPIS MENTORA

Prof. dr. sc. Oleg Antonić je 1991. diplomirao šumarstvo (Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu), 1993. magistrirao Biomatematiku (izvoditelji više hrvatskih fakulteta i instituta), a 1996. doktorirao na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (u znanstvenom području prirodnih znanosti, polje biologija, grana ekologija). Nakon dvadeset godina zaposlenja na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu (do 2007. kao znanstveni suradnik, do 2012. kao viši znanstveni suradnik), zaposlen je na Odjelu za biologiju Sveučilišta J. J. Strossmayer u Osijeku (do 2017. kao izvanredni profesor, do 2023. kao redoviti profesor, a potom kao redoviti profesor u trajnom zvanju), gdje je na preddiplomskom studiju nositelj kolegija „Geobotanika“, na diplomskim studijima nositelj kolegija „Terestrička ekologija“, „Geoinformatika u zaštiti prirode i okoliša“, „Okolišni i prirodni resursi“, te „Procjena utjecaja na prirodu i okoliš“, dok na interdisciplinarnom doktorskom studiju „Zaštita prirode i okoliša“ vodi kolegije „Ekologija“, „Geoinformatika i daljinska istraživanja“ i „Ekologija šuma“. Bio je voditelj ili suvoditelj ukupno 19 kvalifikacijskih radova od čega 10 doktorskih disertacija, 3 magistarska rada, 5 diplomskih radova i 1 završnog rada. Područja njegovog znanstvenog djelovanja obuhvaćaju ekološko modeliranje u terestričkim (posebno šumskim) ekosustavima, monitoring stanja ekosustava, geomorfometriju, bioklimatologiju, pedologiju, raster-GIS modeliranje i multivarijatnu statistiku. Objavio je 47 znanstvenih radova i jedno poglavlje u međunarodnom udžbeniku, a suautor je na jednom sveučilišnom udžbeniku. Recenzirao je desetke znanstvenih radova za različite međunarodne znanstvene časopise i sudjelovao sa znanstvenim prilogima na brojnim znanstvenim skupovima. Član je nekoliko znanstvenih i stručnih udruga. Bio je član izdavačkog savjeta znanstvenog časopisa Hrvatske vode. Sudjelovao je na brojnim istraživačkim projektima u području zaštite prirode, procjene utjecaja na okoliš i inventarizacije prirodnih resursa.

SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
1.1	Cilj i hipoteze istraživanja.....	2
2	LITERATURNI PREGLED	3
2.1	Raznolikost i očuvanost šišmiša u Hrvatskoj u kontekstu ugroza i klimatskih promjena	3
2.2	Uloga mikroklima u ekologiji šišmiša	6
2.3	Dosadašnja istraživanja utjecaja mikroklima na aktivnost šišmiša.....	11
2.3.1	Pregled korištenih metoda, podataka i analiza	11
2.3.2	Sinteza rezultata mjerenja utjecaja mikroklima na aktivnost šišmiša	15
2.3.3	Utjecaj ostalih okolišnih uvjeta na aktivnost šišmiša	18
3	MATERIJALI I METODE.....	20
3.1	Područje istraživanja.....	20
3.2	Lokaliteti i vremenska dinamika terenskih istraživanja	22
3.3	Praćenje aktivnosti šišmiša	28
3.3.1	Snimanje glasanja za potrebe praćenja aktivnosti šišmiša	28
3.3.2	Obrada snimljenog materijala za potrebe praćenja aktivnosti šišmiša	28
3.4	Mjerenje mikroklimatskih uvjeta	30
3.5	Numerička i statistička obrada podataka	31
3.5.1	Osnovna statistička obrada podataka.....	34
3.5.2	Multivarijatni modeli.....	34
3.6	Dopunska analiza istraživanih lokaliteta u širem prostornom kontekstu na temelju sastava vrsta šišmiša	40
4	REZULTATI	44
4.1	Aktivnost šišmiša	44
4.1.1	Sezonska dinamika	44
4.1.2	Nadmorska visina i prostorni položaj lokaliteta	47

4.1.3	Noćna dinamika	49
4.1.4	Relativna mjesečina	50
4.1.5	Vrste i fonetske skupine	53
4.2	Aktivnost šišmiša u odnosu na pojedinačne mikroklimatske varijable	57
4.2.1	Intenzitet oborine.....	57
4.2.2	Temperatura zraka	58
4.2.3	Brzina vjetra	60
4.2.4	Relativna vlažnost zraka	63
4.2.5	Atmosferski tlak.....	65
4.3	Aktivnost šišmiša u odnosu na kombinaciju mikroklimatskih varijabli	67
4.4	Multivarijatni modeli učinka mikroklimе na aktivnost šišmiša	70
4.4.1	Odabir mikroklimatskih prediktora temperature i brzine vjetra	72
4.4.2	Odabir mikroklimatskih prediktora relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka	74
4.4.3	Završni modeli.....	77
4.4.4	Učinak mikroklimе u ovisnosti o noćnoj i sezonskoj dinamici aktivnosti	114
4.4.5	Prostorna specifičnost modela	116
4.5	Dopunska analiza istraživanih lokaliteta u širem prostornom kontekstu na temelju sastava vrsta šišmiša	117
5	RASPRAVA	121
5.1	Razlika između pojave i intenziteta aktivnosti	121
5.2	Uloga vremenske skale i dinamike mikroklimatskih uvjeta	121
5.3	Intenzitet oborine (hipoteza H2)	122
5.4	Temperatura zraka, brzina vjetra, relativna vlažnost zraka i atmosferski tlak (hipoteze H1, H3)	123
5.5	Utjecaj mikroklimе ovisno o vrstama i fonetskim skupinama (hipoteza H5)	125
5.6	Sezonska i noćna dinamika aktivnosti šišmiša	127
5.7	Utjecaj mikroklimе ovisno o noćnoj i sezonskoj aktivnosti (hipoteze H4, H6)	129
5.8	Prostorna specifičnost (hipoteza H7)	129

5.9	Utjecaj relativne mjesečine na aktivnost šišmiša	130
5.10	Metodološka ograničenja	131
5.11	Implikacije dobivenih rezultata za zaštitu i očuvanje populacija šišmiša	133
6	ZAKLJUČAK	135
7	POPIS LITERATURE.....	137
8	PRILOZI.....	150
	Prilog 1a. Raspodjela broja 5-sekundnih snimki sa zabilježenim glasanjem šišmiša (N) na razini 10-minutnih intervala praćenja	150
	Prilog 2a. Deskriptivna statistika mikroklimatskih mjerenja na razini 10-minutnih intervala praćenja	151
	Prilog 2b. Deskriptivna statistika mikroklimatskih mjerenja na razini 10-minutnih intervala praćenja po lokalitetima istraživanja	152
	Prilog 2c. Deskriptivna statistika mikroklimatskih mjerenja na razini 10-minutnih intervala praćenja po sezonama	156
	Prilog 3. Rezultati Dunnova post hoc testa za aktivnost šišmiša unutar svakog kvartila mikroklimatske varijable.....	158
	Prilog 4 Testirani modeli u postupku odabira mikroklimatskih prediktora	160
	Prilog 5. Box-whisker dijagrami prediktora, završni model – Set B.....	163
	Prilog 6. Distribucija prediktora, završni model – Set B	170
	Prilog 7. Pearson korelacijske matrice prediktora, završni model – Set B	171
	Prilog 8. Parcijalni učinak mikroklimatskih prediktora dominantnih vrsta i fonetskih skupina šišmiša – Set A.....	172
	Prilog 9. Parcijalni učinak interakcija mikroklimatskih prediktora dominantnih vrsta i fonetskih skupina šišmiša – Set B	177
	Prilog 10. Ukupni odgovor (predviđene vrijednosti) modela za interakcije mikroklimatskih prediktora dominantnih vrsta i fonetskih skupina šišmiša – Set B	180
9	ŽIVOTOPIS.....	183

1 UVOD

Šišmiši predstavljaju jednu od najraznolikijih skupina sisavaca (Fenton i Simmons 2015) te su rasprostranjeni u širokom rasponu staništa zahvaljujući prilagodbi različitim ekološkim uvjetima. Od drugih sisavaca razlikuje ih sposobnost leta, a karakterizira ih i mogućnost orijentacije uz pomoć zvuka, odnosno ehelokacije. Uz poneke iznimke, europske vrste prvenstveno se hrane kukcima te kao takve imaju važnu ulogu tzv. „bioloških pesticida“, čime pridonose prirodnoj ravnoteži ekosustava (Dietz i sur. 2009, Dietz i Kiefer 2016). Istovremeno, pod snažnim su utjecajem intenzivnog i raznovrsnog ljudskog djelovanja (Jones i sur. 2009, Barova i Streit 2018, Rnjak i sur. 2023a). Dug životni vijek i niska stopa razmnožavanja čine šišmiše posebno osjetljivima na promjene u okolišu. Porast udjela ugroženih vrsta očekuje se u brojnim regijama, uključujući područje Mediterana koje je posebno osjetljivo na klimatske promjene (Myers i sur. 2000), gdje su istovremeno istraživački napori i implementacija mjera očuvanja za šišmiše još uvijek nedostatni (Massaad i sur. 2022).

Godišnji ciklus šišmiša usko je povezan s promjenama godišnjih doba, odnosno vremenskim prilikama i dostupnošću plijena (kukaca). Pri tom mikroklimatski čimbenici mogu utjecati na energetske učinkovitost leta (npr. Voigt i sur. 2011), ehelokaciju šišmiša (npr. Schnitzler i Kalko 2001) i koncentraciju kukaca u zraku (npr. Hawkes i sur. 2023). Povezanost aktivnosti šišmiša i mikroklimatskih uvjeta može se razlikovati ovisno o ekologiji pojedinih vrsta, kao i na geografskoj razini, ovisno o lokalnim klimatskim obilježjima (Russo i Jones 2003, Ciechanowski i sur. 2007, de Jong i sur. 2021). U recentnim radovima mikroklimatski se parametri u modelima aktivnosti šišmiša uglavnom koriste kao operativni prediktori u kontekstu vjetroelektrana ili regionalnih prognoza, uz ograničen broj mikroklimatskih čimbenika (npr. Behr i sur. 2018, Farnsworth i sur. 2021), ali su istraživanja na ovu temu općenito vrlo oskudna. To je posebno slučaj za područje Mediterana gdje su istraživanja često provedena bez preciznih mikroklimatskih mjerenja na istraživanim lokacijama, ponekad čak i bez sustavnog praćenja aktivnosti šišmiša (npr. Amorim i sur. 2012, Salguero i sur. 2023). Istovremeno, područje Mediterana ističe se iznimnom bioraznolikošću faune šišmiša, s 43 od ukupno 46 poznatih europskih vrsta (IUCN 2025). Hrvatska pritom zauzima važnu ulogu s najmanje 31 vrstom zabilježenom u mediteranskoj biogeografskoj regiji,

što je rezultat njezina specifičnog geografskog položaja u dinarskom kršu i velike raznolikosti staništa (Rnjak i sur. 2023a).

1.1 Cilj i hipoteze istraživanja

Cilj ove doktorske disertacije jest istražiti utjecaj mikroklimatskih uvjeta na aktivnost šišmiša na području Dalmacije, kao reprezentativnog dijela mediteranske biogeografske regije. U okviru istraživanja testirat će se sljedeće hipoteze:

- H1 – Brzina vjetra negativno je korelirana s intenzitetom aktivnosti.
- H2 – Prisustvo oborine drastično smanjuje intenzitet aktivnosti.
- H3 – Temperatura, vlaga, atmosferski tlak statistički značajno utječu na aktivnost.
- H4 – Mikroklimatska uvjetovanost aktivnosti ovisi o dobu noći i sezonskoj aktivnosti šišmiša.
- H5 – Šišmiši slične ekologije (tehnike leta, lova, eholokacije) pokazuju slične odgovore na mikroklimatske uvjete i njihove promjene.
- H6 – Ukupnu varijabilnost intenziteta aktivnosti na nekoj lokaciji moguće je u statistički značajnoj mjeri objasniti numeričkim modelima u zavisnosti od mikroklimatskih uvjeta, rednog broja dana u godini i doba noći.
- H7 – Numerički modeli iz prethodne točke su prostorno specifični, odnosno lokalno dodatno ovisni od drugih čimbenika.

Cilj istraživanja jest pridonijeti boljem teorijskom razumijevanju utjecaja vremenskih uvjeta na šišmiše na području mediteranske regije te ispitati mogućnosti razvoja i primjene numeričkih modela za predviđanje njihove aktivnosti. Uz doprinos boljem razumijevanju ekoloških mehanizama koji povezuju vremenske uvjete i ponašanje šišmiša, rezultati istraživanja imat će i važnu primijenjenu vrijednost. Novostečena znanja moći će se primijeniti u planiranju učinkovitijih mjera očuvanja vrsta i njihovih staništa, primjerice u kontekstu mogućih utjecaja klimatskih promjena te u svrhu prilagodbe rada vjetroelektrana s ciljem ublažavanja negativnih utjecaja na šišmiše (npr. za potrebe ograničavanja rada vjetroatregata u specifičnim mikroklimatskim uvjetima očekivane najveće aktivnosti šišmiša s ciljem smanjenja rizika od njihovog stradavanja u sudarima s lopaticama). Time ovo istraživanje ne samo da doprinosi znanstvenom razumijevanju ove skupine sisavaca, već i osigurava temelje za praktične mjere očuvanja usklađene s načelima održivog razvoja.

2 LITERATURNI PREGLED

2.1 Raznolikost i očuvanost šišmiša u Hrvatskoj u kontekstu ugroza i klimatskih promjena

Republika Hrvatska svrstava se među europske zemlje s najvećom raznolikošću faune šišmiša (Ulrich i sur. 2007). Dosadašnja istraživanja potvrđuju prisutnost najmanje 33 vrste, od kojih je 31 potvrđena na području mediteranske biogeografske regije (Rnjak i sur. 2023a). Pri tom postoji mogućnost da na teritoriju Hrvatske redovito obitavaju i druge, slabije prepoznate kriptične vrste, na što upućuju nedavna molekularna istraživanja (Çoraman i sur. 2020, Josić i sur. 2024). Visoka raznolikost vrsta u mediteranskoj regiji posljedica je specifičnog geografskog položaja Hrvatske u dinarskom kršu, velike raznolikosti staništa te prijelaznog karaktera između srednjoeuropskih i mediteranskih klimatskih obilježja.

Sve su vrste šišmiša u Republici Hrvatskoj obuhvaćene međunarodnim i nacionalnim pravnim okvirom zaštite. Hrvatska je potpisnica Sporazuma o zaštiti šišmiša u Europi (UNEP/EUROBATS) (NN – Međunarodni ugovori 6/00), a sve vrste šišmiša uvrštene su u Dodatak IV Direktive o zaštiti prirodnih staništa i divlje faune i flore (HD 92/43/EEC), što obvezuje države članice Europske unije na zaštitu i redovito izvještavanje o njihovom stanju očuvanosti. Među njima u Hrvatskoj obitava i 12 vrsta uvrštenih na Dodatak II iste Direktive, čime su prepoznate kao vrste od osobitog značaja za Europsku uniju i ciljne vrste ekološke mreže Natura 2000. Na nacionalnoj razini sve su vrste šišmiša strogo zaštićene Zakonom o zaštiti prirode (NN 80/13, 15/18, 14/19, 127/19, 155/23) te Pravilnikom o strogo zaštićenim vrstama (NN 144/13, 73/16), čime je uspostavljen zakonski okvir za njihovo očuvanje i praćenje.

Unatoč zakonskoj zaštiti, stanje očuvanosti šišmiša u Hrvatskoj, pa tako i u mediteranskoj regiji, u velikom je broju slučajeva procijenjeno kao nepoznato, nepovoljno neodgovarajuće ili nepovoljno loše (Hamidović i sur. 2019, EAA 2020), prvenstveno u kontekstu uočenih pritisaka i nedostatka sustavnih mjera očuvanja.

Kao glavne ugroze na europskoj razini prepoznati su uznemiravanje u podzemnim i nadzemnim skloništima, prekomjerna sječa starijih stabala s dupljama i pukotinama, upotreba pesticida, onečišćenje voda, gubitak i fragmentacija lovniha staništa dodatno

intenzivirani sve većom urbanizacijom, krčenjem šuma, svjetlosnim onečišćenjem, intenzivnom poljoprivredom i razvojem infrastrukture (Antolović i sur. 2006, Jones i sur. 2009, Dietz i Kiefer 2016, Barova i Streit 2018, Voigt i sur. 2018, Kyheröinen i sur. 2019, Rnjak i sur. 2023a). Zabilježena su i stradavanja šišmiša prilikom prelijetanja prometnica te uslijed sudara s lopaticama vjetroagregata ili barotraume tijekom rada vjetroelektrana (Rodrigues i sur. 2015, Matthews i sur. 2024). U Hrvatskoj je dodatno u posljednje vrijeme bilježen gubitak velikog broja nadzemnih skloništa tijekom građevinskih obnova, zatvaranjem pukotina i otvora koje šišmiši koriste kao ulaze, promjenama mikroklimatskih uvjeta i osvjetljenja te urušavanjem zapuštenih objekata (Rnjak i sur. 2023a).

Klimatske promjene također predstavljaju sve značajniji izazov za faunu šišmiša, osobito u mediteranskoj regiji, gdje se očekuju izraženije promjene režima oborina, porast temperature, češće i intenzivnije ekstremne vremenske pojave te produljena sušna razdoblja. Takve promjene mogu dovesti do izmjena mikroklimе u skloništima, gubitka ili degradacije pogodnih lovnih staništa, isušivanja izvora vode te povećanog rizika od dehidracije. Dugoročno mogu utjecati na reproduktivni uspjeh, uporabu torpora, obrasce hibernacije i migracija te općenito na ponašanje i rasprostranjenost vrsta (Fialas i sur. 2025, Kerth i Wolf 2025, Nouioua i sur. 2025). Projekcije upućuju na to da bi u razdoblju 2081. – 2100. šišmiši u obalnim mediteranskim područjima mogli prestati hibernirati (Mas i sur. 2022), dok se do sredine 21. stoljeća predviđa smanjenje pogodnosti staništa u južnoj Europi i pomicanje rasprostranjenosti brojnih vrsta prema sjeveru (Fialas i sur. 2025). Takve promjene mogle bi imati dalekosežne posljedice ne samo za populacije šišmiša, već i za funkcioniranje cijelih ekosustava.

Razumijevanje utjecaja mikroklimе na aktivnost šišmiša stoga ima važnu ulogu ne samo u teorijskom razumijevanju ekoloških mehanizama, već i u primijenjenoj ekologiji, osobito u procjeni i ublažavanju negativnih utjecaja. U okviru borbe protiv klimatskih promjena jedan od ključnih ciljeva jest povećanje udjela obnovljivih izvora energije, pri čemu se šišmiši istovremeno ubrajaju među najugroženije skupine tijekom rada vjetroelektrana, zbog stradavanja uslijed sudara s lopaticama vjetroagregata i/ili barotraume. Trenutačno se najučinkovitijom mjerom ublažavanja negativnih utjecaja smatra ograničavanje rada vjetroagregata pri nižim brzinama vjetra, kada se očekuje pojačana aktivnost šišmiša i povećan rizik od stradavanja (Rodrigues i sur. 2015). Iako se primjena općenitih mjera za ograničenje brzine vjetra (npr. $5,0 - 6,5 \text{ m s}^{-1}$) pokazala

učinkovitom u smanjenju stradavanja (Arnett i sur. 2011, Horn i sur. 2008, Măntoiu i sur. 2020), takve mjere istodobno dovode do kraćeg vremena proizvodnje i smanjene količine proizvedene električne energije.

Kako bi se izbjegli nepotrebni gubici u proizvodnji, posljednjih se godina razvijaju složeniji operativni modeli ublažavanja negativnih utjecaja, koji uvažavaju varijabilnost aktivnosti šišmiša u ovisnosti o mikroklimatskim uvjetima, sezoni i dobu noći (npr. Lagrange i sur. 2009, Behr i sur. 2018, Rnjak i sur. 2023b). Preciznije poznavanje odnosa između mikroklimatske i intenziteta aktivnosti omogućuje razvoj lokalno prilagođenih modela koji ograničavaju rad vjetroagregata samo u kratkim vremenskim razdobljima i specifičnim mikroklimatskim uvjetima u kojima se očekuje najveća aktivnost šišmiša, čime se istodobno smanjuje rizik od stradavanja i gubitak u proizvodnji električne energije.

2.2 Uloga mikroklima u ekologiji šišmiša

Brojna istraživanja pokazala su da mikroklima ima važnu ulogu u fiziologiji i ponašanju šišmiša. Njezin se značaj očituje već pri odabiru skloništa, neovisno o tome što različite vrste šišmiša u tu svrhu koriste različite tipove objekata i mikro-lokaliteta. Naime, neke vrste preko dana pretežito borave u podzemnim objektima (npr. špilje, jame, tuneli i rudnici), dok druge radije koriste različite nadzemne strukture, osobito u toplijem dijelu godine (npr. nenaseljene građevine, potkrovlja, mostove, pukotine u fasadama i prozorima, stijenama, kao i duplje i pukotine u stablima) (Dietz i sur. 2009, Dietz i Kiefer 2016, Rnjak i sur. 2023a). Mikroklimatski uvjeti unutar skloništa i njihova stabilnost (prije svega temperatura, relativna vlažnost i strujanje zraka) imaju ključnu ulogu pri odabiru skloništa, uz morfološka obilježja objekta, stupanj osvjetljenosti te udaljenost pogodnih lovnih staništa. Preferencije u odabiru skloništa uključuju i vrlo fine varijacije mikroklimatskih uvjeta koje ovise o toleranciji vrste na toplinu i gubitak vode, njezinu kapacitetu za evaporativno hlađenje i torpor, ali i o razdoblju godine te reproduktivnom stanju jedinki (npr. Boyles 2007, Boyles i sur. 2007, Czenze i sur. 2022, Winter i sur. 2020). Između ostalog, postoje i pretpostavke da bi promjene tlaka zraka u podzemnim objektima mogle utjecati na metabolizam, odnosno torpor šišmiša te na procjenu povoljnih uvjeta za izlazak iz skloništa (Paige 1995). Istraživanja su također pokazala da su mikroklimatski uvjeti povezani s vremenom dolaska, formiranja ljetnih i zimskih kolonija šišmiša te početka migracija (Dechmann i sur. 2017, Pettit i O'Keefe 2017, Lagerveld i sur. 2024).

U okviru godišnjeg ciklusa, aktivnost šišmiša povezana je s promjenama godišnjih doba, odnosno vremenskim prilikama i dostupnošću plijena. Tijekom zime šišmiši najčešće hiberniraju, iako u pojedinim slučajevima, osobito u mediteranskoj regiji, mogu ostati povremeno aktivni (Barros i sur. 2017, 2021). Kada nastupe povoljniji vremenski uvjeti i poveća se brojnost kukaca, prelijeću manje ili veće udaljenosti do ljetnih skloništa. Dok se neke vrste zadržavaju relativno blizu i koriste ljetna skloništa udaljena do 50 km, pojedine vrste migriraju na veće udaljenosti, neke i na veće od 1000 km (Hutterer i sur. 2005). Tijekom kasnog proljeća i ranog ljeta ženke se okupljaju u porodiljne kolonije i kote mlade, a mužjaci se uglavnom izdvajaju u zasebne ljetne kolonije. U kasno ljeto i jesen šišmiši se ponovno okupljaju, pare te započinju migracije prema zimskim skloništima. Kod većine vrsta u umjerenim područjima oplodnja se

najčešće odgađa do proljeća, s početkom gestacije nakon buđenja ženki iz hibernacije (Dietz i sur. 2009, Dietz i Kiefer 2016).

Iako su šišmiši uglavnom aktivni noću, njihova aktivnost tijekom noći nije jednoliko raspoređena. Neke vrste hrane se neposredno nakon zalaska Sunca, zatim se tijekom sredine noći vraćaju u skloništa ili smanjuju aktivnost te ponovno izlaze na hranjenje prije izlaska Sunca, dok druge započinju aktivnost kasnije i hrane se gotovo kontinuirano tijekom cijele noći (Rydell i sur. 1996). Dinamika aktivnosti kroz noć povezana je sa strategijama lova, odnosno prehranom i tehnikama leta pojedinih vrsta.

Životni ciklus i ekologija vrsta sami po sebi, međutim, ne objašnjavaju svu varijabilnost aktivnosti šišmiša nakon izlaska iz skloništa. Ponašanje insektivornih šišmiša određeno je nizom ekoloških čimbenika, među kojima mikroklimatski uvjeti mogu utjecati na energetske učinkovitost leta, eholokaciju te dostupnost plijena, a time posredno i na uspješnost lova. Upravo se utjecajem mikroklimatske na aktivnost šišmiša nakon izlaska iz skloništa bavi ova doktorska disertacija.

Budući da su insektivorni šišmiši heterotermne životinje male tjelesne mase, tijekom leta su izloženi visokim energetske zahtjevima. To je posljedica potrebe za održavanjem visokih metaboličkih stopa te koordinacije aerodinamičkih i termoregulacijskih mehanizama tijekom kretanja u zraku. Pri tom se brzina leta i manevriranje, ovisno o morfološkim značajkama vrste, prilagođavaju kako bi se smanjili ukupni energetske troškovi (Norberg i Rayner 1987). Mikroklimatski uvjeti mogu dodatno utjecati na termoregulacijske potrebe i energetske učinkovitost tijekom leta te time povećati metaboličke troškove (Thomas i Speakman 2003, Voigt i sur. 2011).

Eholokacija je, uz ostale prilagodbe, ključna za učinkovitu prostornu orijentaciju i pronalazak hrane (Schnitzler i Kalko 2001). Frekvencije signala europskih vrsta šišmiša kreću se približno od 9 do 116 kHz (Barataud 2015). Više frekvencije omogućuju veću prostornu razlučivost, no imaju kraći domet (Schnitzler i Kalko 2001). Na eholokaciju utječu varijacije atmosferskog prigušenja zvuka koje proizlaze iz složene interakcije relativne vlažnosti i temperature zraka. Ti su čimbenici posebno važni za vrste koje detektiraju plijen na većim udaljenostima u otvorenom prostoru (Chaverri i Quirós 2017), kao i za šišmiše koji emitiraju signale visoke frekvencije te zbog toga trpe jače atmosfersko prigušenje (Goerlitz 2018). Kako bi kompenzirale smanjenu detekciju plijena u uvjetima povećanog atmosferskog prigušenja, neke vrste

snižavaju frekvenciju i povećavaju trajanje eholokacijskih signala, osobito onih CF tipa (eng. *constant frequency signals*) (Chaverri i Quirós 2017, Wu i sur. 2021). Alternativno bi mogle povećavati intenzitet signala, no to je u većini slučajeva energetski neodrživo. Kod vrsta koje ne prilagođavaju eholokacijske signale, u takvim uvjetima dolazi do smanjenja dosega detekcije plijena (de Framond i sur. 2023).

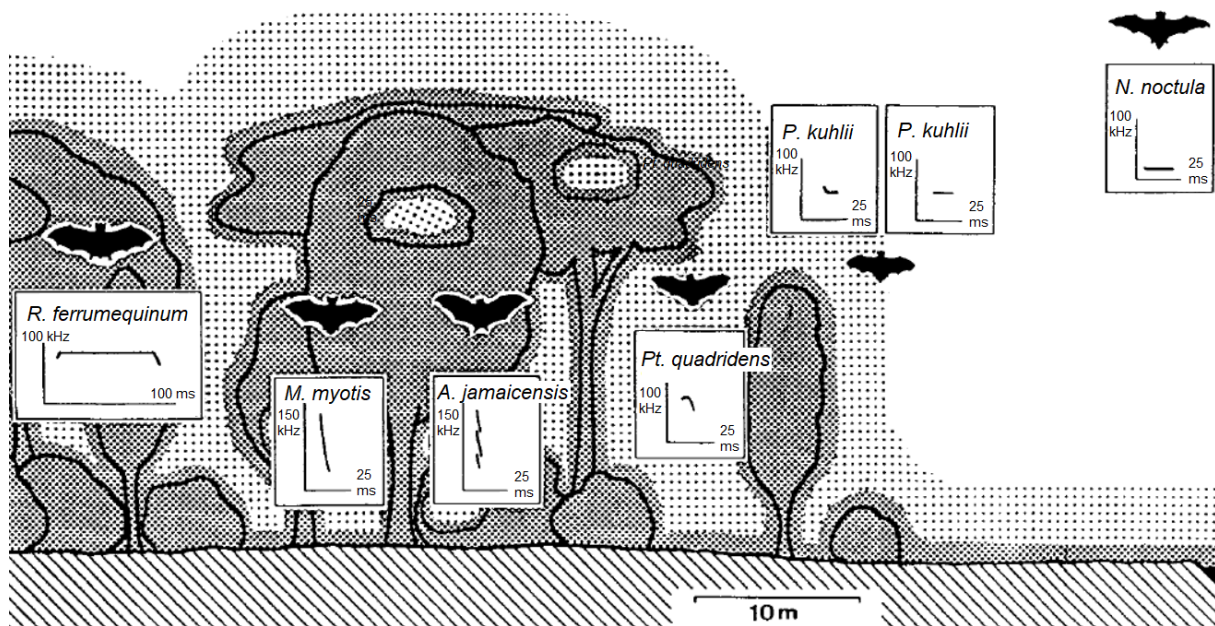
Mikroklimatski podaci značajno poboljšavaju predviđanje brojnosti i sezonske dinamike kukaca na lokalnoj razini u odnosu na grublje klimatske modele (Rebaudo i sur. 2016). Razlog tome je što mikroklimatski parametri, poput temperature, relativne vlažnosti i brzine vjetra, utječu i na fiziologiju, ponašanje i prostornu raspodjelu kukaca, koji kao ektotermni organizmi ovise o vanjskim izvorima topline za održavanje metaboličke aktivnosti (npr. Hawkes i sur. 2023). Međutim, treba naglasiti i to da mikroklima ima brojne posredne učinke na kukce, odnosno na njihovu reprodukciju i razvoj, faze životnih ciklusa njihovih predatora, patogena i parazita, te na dostupnost biljnih i životinjskih izvora hrane, što interakcije između kukaca i vremenskih čimbenika čini iznimno složenima (Willmer 1982). U svakom slučaju, ti se učinci odražavaju na strukturu populacija kukaca i njihovu sezonsku dostupnost predatorima, uključujući šišmiše.

U nastavku su sažeta dosadašnja opažanja o mogućim mehanizmima putem kojih mikroklima može utjecati na aktivnost šišmiša, prema dostupnoj literaturi:

- Prilikom pojave **oborina** očekuje se manja koncentracija kukaca (Danthanarayana 1976, Hawkes i sur. 2023). Kapljice kiše mogu ometati eholokaciju, zbog čega šišmišima postaje teže otkriti plijen ili prepreke (Griffin 1971). Istraživanja pokazuju da se metabolizam tijekom leta može i dvostruko povećati kada su krila i krzno šišmiša mokri (Voigt i sur. 2011).
- Niže **temperature zraka** smanjuju dostupnost kukaca, dok se prilikom viših temperatura često može očekivati veća raznolikost i koncentracija kukaca (Taylor 1963, Jonason i sur. 2014, Leihy i Chown 2020, Fetnassi i sur. 2022, Hawkes i sur. 2023). Niže temperature povećavaju atmosfersko prigušenje te time dodatno skraćuju udaljenost detekcije plijena (Schnitzler i Kalko 2001). Vrlo je vjerojatno i da se u takvim uvjetima povećavaju energetski troškovi termoregulacije (Bender i Hartman 2015).

- Velike brzine **vjetra** također mogu smanjiti koncentraciju kukaca u zraku (Danthanarayana 1976, Møller 2013, Leihy i Chown 2020, de Jong i sur. 2021, Hawkes i sur. 2023), usporiti brzinu zvuka i prigušiti zvuk (Goerlitz 2018), a očekuje se i da utječu na energetiku leta (Thomas i Speakman 2003).
- Visoka **relativna vlažnost zraka** može otežati eholokaciju smanjujući maksimalnu udaljenost detekcije (Schnitzler i Kalko 2001), ali se bilježi povećana aktivnost nekih vrsta kukaca, primjerice komaraca (Lebl i sur. 2013). Istovremeno, u zamkama se prilikom nekih istraživanja uočava manja brojnost i raznolikost noćnih leptira (Jonason i sur. 2014, Fetnassi i sur. 2022), no to može biti i posljedica varijacija u učinkovitosti zamki pri različitim vremenskim uvjetima. Primjerice, svjetlosne zamke u magli su slabije vidljive kukcima, dok šećerne zamke manje privlače kukce kada su dostupni lakši izvori hrane (Fetnassi i sur. 2022).
- Visok **atmosferski tlak** ukazuje na povoljne vremenske uvjete pa ga šišmiši možda koriste kao prediktor povoljnih uvjeta za let (Bender i Hartman 2015, Fjellidal i sur. 2021, Koch i sur. 2023), iako neka istraživanja upućuju na manju dostupnost plijena pri višem tlaku (Paige 1995). Za noćne leptire utvrđeno je da atmosferski tlak ne mora utjecati na brojnost, ali da raznolikost vrsta može biti viša pri nižem tlaku ili pri promjenama tlaka s nižih na više vrijednosti (Fetnassi i sur. 2022). Nije isključena mogućnost da šišmiši povećavaju intenzitet hranjenja prije pogoršanja vremenskih uvjeta ili nakon duljih razdoblja nepovoljnih uvjeta, pri čemu su takve promjene često povezane s promjenama atmosferskog tlaka.

Sve dosadašnje spoznaje ukazuju na to da mikroklimatski uvjeti mogu utjecati na aktivnost šišmiša. Mogućnost korištenja torpora i visoka mobilnost omogućuju šišmišima prilagodbu aktivnosti optimalnim vremenskim razdobljima, područjima i staništima. Iako je let energetski najzahtjevniji oblik kretanja, on istovremeno omogućuje brz i učinkovit pristup većim količinama hrane (Dietz i sur. 2009). Tehnike leta i strategije lova predstavljaju ključne prilagodbe šišmiša te su usko povezane s obilježjima njihovih eholokacijskih signala (Slika 1). Naime, eholokacija pojedinih vrsta odražava način korištenja prostora i dominantni tip akustičnog staništa, zbog čega vrste sličnog glasanja, odnosno fonetske skupine, često dijele slične obrasce kretanja i lova, odnosno pripadaju ekološki sličnim nišama (Norberg i Rayner 1987, Schnitzler i Kalko 2001).



Slika 1 Osnovni tipovi eholokacijskih signala šišmiša u odnosu na akustički tip primarnih lovnih staništa (preuzeto iz Schnitzler i Kalko 2001). Tamnosivo označava akustički zatvorena staništa, točkasto rubna staništa, a bijelo otvorena staništa. Na grafovima uz vrste y-os prikazuje frekvenciju signala (kHz), a x-os trajanje signala (ms). Pri prelasku iz akustički zatvorenih i rubnih u otvorenija staništa šišmiši dodatno prilagođavaju eholokacijske signale, između ostalog mijenjajući i širinu frekvencijskog pojasa, što je na slici prikazano na primjeru bjeloruskog šišmiša (*Pipistrellus kuhlii*).

Zbog interspecijske varijabilnosti u tehnikama leta, lova, odabiru plijena i eholokaciji, različite vrste mogu pokazivati različitu osjetljivost i različite odgovore na promjene mikroklimatne (Ciechanowski i sur. 2007). Sastav vrsta i ukupna aktivnost šišmiša mogu se razlikovati i na geografskoj razini, ovisno o lokalnim okolišnim čimbenicima (Russo i Jones 2003, Ciechanowski i sur. 2007, de Jong i sur. 2021). Tako populacije nekih vrsta (primjerice roda *Rhinolophus*) pokazuju geografske razlike u frekvenciji eholokacijskih signala povezane s prosječnim mikroklimatskim uvjetima, što upućuje na evolucijsku prilagodbu klimatskim uvjetima specifičnim za pojedine regije (Goerlitz 2018). Nadalje, povezanost između aktivnosti šišmiša i mikroklimatne može biti izraženija u područjima u kojima se češće javljaju veće brzine vjetra i rjeđe temperaturne promjene (Grider i sur. 2016). Moguće je i da su specijalizirane vrste, osobito one usmjerene na specifične skupine plijena ili one koje pretežito love u otvorenim staništima, osjetljivije na nepovoljne vremenske uvjete od vrsta koje love bliže vegetaciji, primjerice uz krošnje stabala (Ciechanowski i sur. 2007). Sve navedeno ukazuje na to da se utjecaj mikroklimatne na aktivnost šišmiša vjerojatno može razlikovati ovisno o vrsti, lokalitetu i ekološkoj specijalizaciji, kao i razdoblju godine.

2.3 Dosadašnja istraživanja utjecaja mikroklima na aktivnost šišmiša

2.3.1 Pregled korištenih metoda, podataka i analiza

Na temelju analize dostupne literature u nastavku su izdvojeni neki od uočenih nedostataka dosadašnjih istraživanja koje se ovom doktorskom disertacijom nastoji nadopuniti. Dosadašnja literatura pokazuje da su za pouzdanije razumijevanje utjecaja mikroklima na aktivnost šišmiša posebno važna *in situ* mikroklimatska mjerenja na istoj lokaciji, kontinuirano praćenje aktivnosti ultrazvučnim detektorima kroz relevantne sezone i cijele noći, multivarijatni modeli koji uvažavaju nelinearnosti i interakcije te procjena prostorne specifičnosti odnosa, osobito u nedovoljno istraženoj mediteranskoj regiji.

A. Indirektna promatranja, često bez preciznih mjerenja mikroklimatskih uvjeta

Veliki broj dosadašnjih istraživanja temelji se na indirektnom promatranju aktivnosti šišmiša, primjerice promatranju izlijetanja iz skloništa (Parsons i sur. 2003, Berková i Zukal 2010, Koch i sur. 2023) ili prisutnosti u skloništu (Pettit i O'Keefe 2017), njihovog ponašanja u blizini vjetroagregata termalnim infracrvenim kamerama (Horn i sur. 2008) te pronalascima stradalih jedinki u okviru praćenja stradavanja na vjetroelektranama (Arnett i sur. 2011, Santos i sur. 2013, Salguero i sur. 2023). Iako su takvi pristupi omogućili važne uvide u povezanost vremenskih uvjeta i pojave ili intenziteta aktivnosti, njihova interpretativna vrijednost u kontekstu stvarne mikroklima kojoj su šišmiši izloženi tijekom leta ostaje ograničena.

Primjerice, aktivnost na ulazu u sklonište često se koristi kao pokazatelj aktivnosti, iako može biti dvoznačna: intenzitet se povećava ne samo tijekom izlaska šišmiša iz skloništa u potrazi za hranom, nego i u situacijama pogoršanja vremenskih uvjeta, kada se šišmiši ranije vraćaju u sklonište u potrazi za zaklonom. Time se mikroklimatski uvjeti koji zapravo inhibiraju aktivnost mogu pogrešno interpretirati kao uvjeti povećane aktivnosti. Berková i Zukal (2010) tako navode povećanje aktivnosti u ulaznom dijelu špilje pri većoj količini oborine, vjerojatno kao posljedicu sklanjanja šišmiša. Koch i sur. (2023) slično interpretiraju povećanje aktivnosti velikouhog šišmiša (*Myotis bechsteinii*) pri smanjenju atmosferskog tlaka kao rezultat istraživačke metode, jer ne-reproduktivne ženke i mužjaci u kasno proljeće koriste zaklonjene ulazne prostore zimskih skloništa za kratkotrajni torpor tijekom nepovoljnih uvjeta.

Ograničenja se odnose i na interpretaciju dinamike izlijetanja (vrijeme kada šišmiši napuštaju svoja skloništa radi noćnog hranjenja), pri čemu neka istraživanja bilježe kasnije izlijetanje tijekom toplijih večeri u usporedbi s hladnijima, što može odražavati veći uspjeh u hranjenju tijekom toplih dana i posljedično drugačiju energetska potrebu (Frick i sur. 2012, Rodríguez-San Pedro i sur. 2024).

Praćenje stradavanja na vjetroelektranama dodatno je selektivna metoda: fokusirana je na vrste koje su zbog tehnike i visine leta ugroženije te češće stradavaju uslijed sudara s lopaticama i/ili barotraume, pri čemu ne omogućuje kontinuirano praćenje ponašanja kroz kraće vremenske intervale niti precizno povezivanje aktivnosti s kratkotrajnim promjenama mikroklimе (npr. Arnett i sur. 2011, Santos i sur. 2013, Salguero i sur. 2023).

Sličan problem javlja se i u istraživanjima koja prate stanje ili fiziološke odgovore pojedinih jedinki. Primjerice, Fjellidal i sur. (2021) u Izraelu procjenjuju noćnu uporabu torpora na temelju mjerenja temperature kože šišmiša daljinskim transponderima, dok su za mikroklimatske varijable (atmosferski tlak, oborine, brzina vjeta, relativna vlažnost) koristili prosječne noćne vrijednosti s meteorološke postaje nepoznate udaljenosti.

B. Istraživanja kratkog trajanja, često ograničena na jednu sezonu

Direktnije praćenje aktivnosti šišmiša moguće je snimanjem njihovog glasanja ultrazvučnim detektorima u realnom vremenu. Međutim, iako je razvoj automatskih detektora i pratećih programa za analizu zvuka omogućio detaljnija istraživanja, praćenja su, pogotovo u početku, često provedena nesustavno, kroz kraća vremenska razdoblja i/ili tijekom dijela noći (Russo i Jones 2003, Ciechanowski i sur. 2007, Wolcott i Vulinec 2012). Neka su istraživanja provedena samo tijekom sezonskih migracija (Bender i Hartman 2015, Smith i McWilliams 2016) ili isključivo u zimskom razdoblju (Barros i sur. 2021, Laurence i sur. 2024). Ovakva ograničavanja na pojedine sezone ili kratke vremenske prozore smanjuju mogućnost generalizacije i otežavaju razdvajanje sezonskih obrazaca od učinaka mikroklimе.

C. Neprecizna mikroklimatska mjerenja, često preuzeta s udaljenih postaja

Za pouzdanu interpretaciju odnosa mikroklimе i aktivnosti ključno je mjerenje mikroklimatskih varijabli na istoj lokaciji i u vremenskoj rezoluciji relevantnoj za

ponašanje tijekom noći. Ipak, malo je objavljenih istraživanja koja uz kontinuirano praćenje glasanja istovremeno uključuju precizna mikroklimatska mjerenja na istoj lokaciji. Često se analiziraju satni prosjeci preuzeti s mjernih postaja udaljenih nekoliko do čak više od 40 km (npr. Gorman i sur. 2021, Squires i sur. 2021) ili na nepoznatim udaljenostima (Perks i Goodenough 2020). U pojedinim slučajevima koriste se samo prosječne, minimalne i maksimalne dnevne/noćne vrijednosti (Hayes 1997, Bender i Hartman 2015, Grider i sur. 2016, Smith i McWilliams 2016, Brabant i sur. 2021), nekad čak i samo na razini regije (Smith i McWilliams 2016, Farnsworth i sur. 2021).

Primjerice, Farnsworth i sur. (2021) pokazuju da regionalni vremenski uvjeti, osobito temperatura, mogu predviđati obrasce aktivnosti šišmiša na većim prostornim razmjerima, ali gruba prostorna i vremenska rezolucija meteoroloških podataka ograničava njihovu primjenjivost za analizu mikroklimе kojoj su šišmiši izravno izloženi tijekom leta i hranjenja. Autori navode sporednu i nekonzistentnu ulogu atmosferskog tlaka, relativne vlažnosti, oborina i brzine vjetra, što barem djelomično može odražavati ograničenja podataka prostorne rezolucije oko 32 km. Takav pristup može biti prikladan za opće sezonske trendove, ali je nedostatan za razumijevanje intenziteta aktivnosti unutar noći.

D. Ograničen broj varijabli i/ili potencijalno nedovoljno prikladni analitički pristupi

U dijelu literature uočljiv je trend analiziranja okolišnih varijabli uz pretpostavku da svaka varijabla neovisno doprinosi promjenama aktivnosti. Kako ističu Ciechanowski i sur. (2007), rezultate radova temeljenih isključivo na univarijantnim korelacijama treba tumačiti s oprezom, jer često ne uzimaju u obzir međudjelovanje čimbenika (npr. Hayes 1997, Amorim i sur. 2012).

S druge strane, mjerenja aktivnosti šišmiša i mikroklimatskih varijabli u kratkim intervalima (npr. 10-minutnim), često se provode ciljano u svrhu dizajniranja mjera ublažavanja negativnih utjecaja na vjetroelektranama. To najčešće podrazumijeva definiranje specifičnih mikroklimatskih uvjeta u kojima se očekuje povećana aktivnost šišmiša, radi ograničavanja rada vjetroagregata s ciljem smanjenja rizika od stradanja šišmiša u sudarima s lopaticama. Pri tom je u fokusu najčešće brzina vjetra, uz povremeno temperaturu zraka i oborine. Dodatno, rezultati su nedostatno valorizirani zbog vrlo oskudnog objavljivanja u recenziranim časopisima. Primjerice,

Lagrange i sur. (2009) u svrhu razvoja operativnog protokola ChiroTech za procjenu rizika stradavanja šišmiša na vjetroelektranama u Francuskoj ne navode detalje o korištenim modelima niti rezultate u dostupnom izvještaju. Projekt RENEBAT III (Behr i sur. 2018) pak predstavlja metodološki dobar smjer za procjenu rizika stradavanja, no njegova redukcija mikroklimatskih uvjeta u modelima na brzinu vjetra ograničava ekološku interpretaciju šireg spektra mikroklimatskih parametara.

U mnogim radovima mikroklimatski se utjecaji razmatraju kroz jedan ili mali broj čimbenika, primjerice samo temperatura (Hayes 1997, Grider i sur. 2016), ponekad uz oborine (Santos i sur. 2013, Law i sur. 2025), relativnu vlažnost (Rodríguez-San Pedro i sur. 2024) ili brzinu vjetra (Wellig i sur. 2018, Behr i sur. 2017). Takav pristup često proizlazi iz potrebe za jednostavnijom metodologijom ili ograničenja dostupnih podataka, no ujedno predstavlja ograničenje u interpretaciji rezultata. Analitički pristupi variraju od jednostavnih korelacija do hijerarhijskih modela. Novija istraživanja sve češće primjenjuju generalizirane linearne mješovite modele tj. GLMM (Grider i sur. 2016, Wellig i sur. 2018, Perks i Goodenough 2020, Barros i sur. 2021) te nelinearne generalizirane aditivne modele tj. GAM/GAMM (Smith i McWilliams 2016, Behr i sur. 2018, Lagerveld i sur. 2021, Squires i sur. 2021, Rodríguez-San Pedro i sur. 2024). Pri tome ukazuju na nelinearne učinke koji mogu ovisiti o sezoni, satu noći i geografskom položaju te da su potrebni multivarijatni pristupi koji mogu uvažiti nelinearnosti, interakcije i hijerarhijsku strukturu podataka.

E. Razlike među geografskim područjima i oskudnost istraživanja u Mediteranu

Značajan dio dostupnih radova potječe iz geografskih područja različitih klimatoloških režima i biogeografskog sastava vrsta, poput Brazila (Appel i sur. 2019), Čilea (Rodríguez-San Pedro i sur. 2024), Australije (Fjellidal i sur. 2021, Law i sur. 2025), Sjeverne Amerike (npr. Farnsworth i sur. 2021, Gorman i sur. 2021) te Sjevernog mora (Brabant i sur. 2021, Lagerveld i sur. 2021). Nedostaju istraživanja u Mediteranu koja istovremeno i kontinuirano prate aktivnost šišmiša i mikroklimu u kratkim vremenskim intervalima, što predstavlja jednu od ključnih istraživačkih praznina koju ovo istraživanje nastoji popuniti. Primjerice, u tropskim područjima s čestim oborinama očekuje se veća prilagodljivost dijela vrsta na hranjenje tijekom kišnih uvjeta pa tako Appel i sur. (2019) u amazonskim šumama ne nalaze značajan učinak oborina na aktivnost svih, već samo na pojedine vrste šišmiša.

U mediteranskoj regiji istraživanja su znatno oskudnija te često manjeg opsega i s općenitijim zaključcima (Italija: Russo i Jones 2003, Winter i sur. 2025; Portugal: Amorim i sur. 2012, Barros i sur. 2021; Hrvatska: Rnjak i sur. 2023b), a u nekim slučajevima oslanjaju se na praćenja stradavanja na vjetroelektranama bez ciljanog praćenja aktivnosti ultrazvučnim detektorima, uz korištenje prosječnih noćnih vrijednosti mikroklimatskih uvjeta (Španjolska: Salguero i sur. 2023). Santos i sur. (2013) koriste rezultate praćenja stradavanja na većem broju vjetroelektrana uz klase staništa, reljef i regionalne prosječne mjesečne vrijednosti oborine i temperature za predikciju područja povećanog rizika u Portugalu, no takav pristup ne omogućuje razumijevanje intenziteta aktivnosti unutar noći.

2.3.2 Sinteza rezultata mjerenja utjecaja mikroklime na aktivnost šišmiša

U nastavku su sintetizirani zaključci istraživanja koja su aktivnost šišmiša mjerila izravno ultrazvučnim detektorima, s posebnim naglaskom na radove provedene u umjerenom klimatskom pojasu sjeverne hemisfere (Europa, SAD i Kanada).

Niža aktivnost ili potpun izostanak preleta često su uočeni za vrijeme **oborina** (Amorim i sur. 2012, Behr i sur. 2017, Brabant i sur. 2021, Squires i sur. 2021, Laurence i sur. 2024). Dio istraživanja ne bilježi statistički značajan učinak, pri čemu su u većini takvih radova korištena meteorološka mjerenja s postaja udaljenih približno 7 do 50 km od lokacija snimanja detektorima (Smith i McWilliams 2016, de Jong i sur. 2021, Gorman i sur. 2021), dok su Lagerveld i sur. (2021) analizirali migracije iznad Sjevernog mora.

Dosadašnja istraživanja uglavnom pokazuju višu aktivnost pri višim noćnim **temperaturama zraka**, uz smanjenje ili izostanak aktivnosti pri nižim temperaturama (npr. Hayes 1997, Lagrange i sur. 2009, Amorim i sur. 2012, Bender i Hartman 2015, Grider i sur. 2016, Smith i McWilliams 2016, Behr i sur. 2017, Squires i sur. 2021, Brabant i sur. 2021, Barros i sur. 2021, Farnsworth i sur. 2021, Lagerveld i sur. 2021, Laurence i sur. 2024). Granične vrijednosti potencijalno ovise o vrsti, sezoni i geografskom području te se u literaturi najčešće navode rasponi približno od 6 do 15°C (Amorim i sur. 2012, Behr i sur. 2017, Wellig i sur. 2018, Brabant i sur. 2021, Lagerveld i sur. 2021, Rnjak i sur. 2023b). Neka istraživanja bilježe pozitivan učinak temperature samo za pojedine vrste (Ciechanowski i sur. 2007, Amorim i sur. 2012, de Jong i sur. 2021, Gorman i sur. 2021), dok pojedini radovi ne nalaze statistički značajan učinak (Winter i sur. 2025). Zaključci o mogućem negativnom učinku temperature su rijetki

(Wolcott i Vulinec 2012, Perks i Goodenough 2020) te mogu odražavati metodološka ograničenja (npr. način i lokaciju mikroklimatskih mjerenja te opseg uzorkovanja u odnosu na broj lokaliteta i raznolikost analiziranih staništa).

Većina istraživanja uočava da šišmiši češće lete pri nižim **brzinama vjetra** (Russo i Jones 2003, Lagrange i sur. 2009, Amorim i sur. 2012, Behr i sur. 2017, 2018, Wellig i sur. 2018, Squires i sur. 2021, Barros i sur. 2021, Lagerveld i sur. 2021). Brzine vjetra iznad 5,0 – 6,5 m/s često se navode kao granične vrijednosti iznad kojih se bilježi niža aktivnost (Behr i sur. 2017, 2018, Wellig i sur. 2018, Brabant i sur. 2021) te se koriste pri definiranju mjera ograničavanja rada vjetroatregata radi smanjenja rizika stradavanja šišmiša. Premda se procjene utjecaja i dizajn takvih mjera najčešće barem djelomično čine subjektivno, odnosno na temelju stručne procjene, dostupni radovi ukazuju da njihova primjena može značajno smanjiti stradavanja šišmiša na vjetroelektranama (Arnett i sur. 2011, Behr i sur. 2017, Măntoiu i sur. 2020, Rnjak i sur. 2023b). Manji dio istraživanja ne bilježi značajan učinak vjetra (Smith i McWilliams 2016, Gorman i sur. 2021). Perks i Goodenough (2020) bilježe pozitivan učinak, što može biti povezano s ograničenjima u korištenoj metodologiji, s obzirom i na suprotne zaključke od većine autora o temperaturi zraka u istom radu.

Istraživanja koja ukazuju na potencijalno pozitivan učinak **relativne vlažnosti** malobrojna su te se često odnose samo na pojedine vrste (Ciechanowski i sur. 2007, Wolcott i Vulinec 2012, Barros i sur. 2021, Farnsworth i sur. 2021). Većina drugih studija ne potvrđuje takve učinke, premda je na temelju postojećih podataka teško utvrditi u kojoj bi mjeri takvi rezultati mogli biti povezani s korištenjem podataka s udaljenih postaja i drugim metodološkim ograničenjima (Bender i Hartman 2015, Smith i McWilliams 2016, Squires i sur. 2021, Winter i sur. 2025). Amorim i sur. (2012) bilježe pozitivan učinak relativne vlažnosti na aktivnost malog večernjaka (*Nyctalus leisleri*), patuljastog šišmiša (*Pipistrellus pipistrellus*) te ukupnu aktivnost šišmiša neovisno o vrsti, ali i negativan učinak vlažnosti na intenzitet njihovog stradavanja na vjetroelektrani. Navode mogućnost da visoka vlažnost na visini rotora smanjuje aktivnost i „spušta” šišmiše bliže tlu, gdje je bio postavljen mikrofoni kojim je praćena aktivnost. Učinak na šišmiše, ako postoji, čini se slabijim od učinaka temperature i vjetra te vjerojatno ovisi o vrsti (Frick i sur. 2012). U Čileu su Rodríguez-San Pedro i sur. (2024) zabilježili smanjenu aktivnost pri višoj vlažnosti kod vrsta koje tijekom glasanja koriste visoke frekvencije. Kao mogući uzrok navodi se smanjena učinkovitost

eholokacije, iako se ne može isključiti ni mogućnost slabije detekcije ultrazvuka pomoću detektora. Nasuprot tome, meksički slobodnoredac (*Tadarida brasiliensis*) koji koristi niže frekvencije, prema rezultatima istraživanja bio je manje ograničen uvjetima povećane vlažnosti.

Razumijevanje utjecaja **atmosferskog tlaka** otežava nedostatak podataka, rijetka *in situ* mjerenja tlaka na lokaciji te oprečni rezultati, zbog čega je teško utvrditi jesu li bilježena opažanja rezultat obrazaca ponašanja ili pak razlike u primijenjenoj metodologiji. Ipak, u radovima koji se temelje isključivo na praćenju aktivnosti ultrazvučnim detektorima u umjerenom pojasu češće se bilježi slaba pozitivna povezanost. Ta su istraživanja, međutim, uključivala uglavnom prosječne noćne vrijednosti tlaka (Bender i Hartman 2015, Brabant i sur. 2021) ili su imala bolju vremensku rezoluciju mjerenja, ali uz mjerne postaje udaljene i do 50 km, odnosno nepoznate udaljenosti od lokacija istraživanja (Wolcott i Vulinec 2012, Smith i McWilliams 2016, Farnsworth i sur. 2021). Lagerveld i sur. (2021) ne nalaze značajan učinak, dok Squires i sur. (2021) bilježe blagu negativnu povezanost, također uz korištenje udaljenih mjernih postaja (11 – 42 km). Negativna povezanost tlaka i aktivnosti često je bilježena u istraživanjima provedenim u skloništima ili njihovim ulaznim dijelovima (Paige 1995, Berková i Zukał 2010, Koch i sur. 2023). Nije isključena mogućnost da šišmiši mogu ciljano povećati intenzitet hranjenja prije pogoršanja vremenskih uvjeta, a učinak tlaka potencijalno ovisi i o fiziološkom stanju jedinki (Fjellđal i sur. 2021), sezoni i/ili geografskom području.

2.3.2.1 Utjecaj mikroklimе na migracije šišmiša

Poseban skup istraživanja odnosi se na mikroklimatske uvjete koji uvjetuju početak i tijek migracija te migracije šišmiša iznad mora. Dechmann i sur. (2017) pokazali su, na primjeru telemetrijskog praćenja ranog večernjaka (*N. noctula*) u Švicarskoj, da odluke šišmiša o početku migracija mogu biti povezane praćenjem suptilnih i složenih promjena vremenskih uvjeta tj. međudjelovanja brzine i smjera vjetra te atmosferskog tlaka, čime optimiziraju energetske troškove. Naime, povećana vjerojatnost polaska uočena je tijekom noći s visokim tlakom i jačim vjetrovima u smjeru migracije. Pri tome visok tlak ukazuje na povoljne vremenske prilike, koje prema autorima šišmiši vrlo vjerojatno preferiraju. Povremeno su bilježeni polasci i pri niskom tlaku te slabim vjetrovima suprotnima smjeru leta, što upućuje na to da migracijsko ponašanje šišmiša nije strogo ograničeno optimalnim vremenskim uvjetima, već odražava fleksibilnu strategiju prilagodbe promjenjivim okolišnim uvjetima.

Prilikom praćenja za potrebe procjena utjecaja vjetroelektrana izgrađenih na moru (tzv. *offshore*), Brabant i sur. (2021) bilježe pozitivan učinak tlaka zraka (viša aktivnost pri > 1015 hPa) na migracije preko mora, uz pozitivan utjecaj temperature te negativan utjecaj vjetra i oborine. Lagerveld i sur. (2021) navode da se preleti iznad mora podudaraju s vjetrovima u smjeru leta tj. migracije, koji šišmišima omogućuju znatno veće brzine u odnosu na tlo (do 16,8 m/s; 60,5 km/h), te pretpostavljaju da se migracija često odvija na velikim visinama (nekoliko stotina metara do potencijalno ~2500 m), dok se niska migracija (< 50 m) javlja uglavnom pri nepovoljnim vjetrovima. Usporedno s time, moguće je da su odnosi između mikroklimе i aktivnosti u migracijskom kontekstu dijelom različiti od obrazaca vezanih uz hranjenje u blizini skloništa, što naglašava važnost interpretacije rezultata u kontekstu navedenih različitih tipova aktivnosti.

2.3.3 Utjecaj ostalih okolišnih uvjeta na aktivnost šišmiša

Mnoga istraživanja uz utjecaj mikroklimе analiziraju i utjecaj drugih okolišnih čimbenika koji bi mogli utjecati na aktivnost šišmiša. Istraživanja ukazuju da važnu ulogu mogu imati prisutnost slatkovodnih površina i prikladnih skloništa, a posebno različiti fizionomski tipovi vegetacije i staništa, kao što su šume različitog sastava i starosti pod različitim načinima gospodarenja, travnjačka i grmolika vegetacija, poljoprivredne površine, urbana područja (Russo i Jones 2003, Dietz i Kiefer 2016,

Kyheröinen i sur. 2019, Winter i sur. 2025), što potvrđuju i brojna lokalna i regionalna istraživanja.

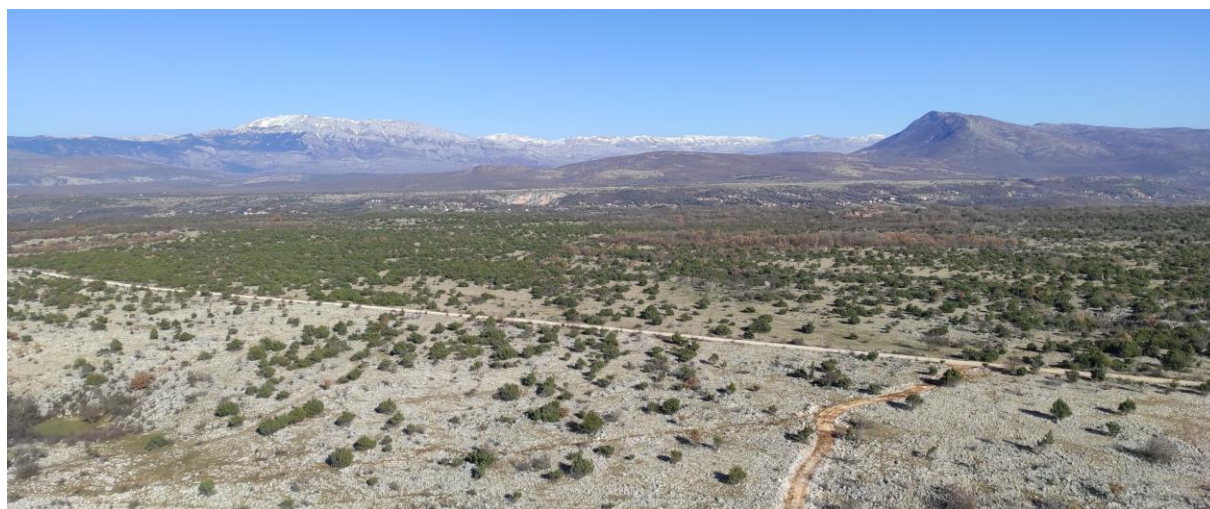
Postoje sugestije da bi intenzitet mjesečine mogao utjecati na aktivnost šišmiša, potencijalno povećavajući rizik od predatora te posredno utječući na aktivnost noćnih vrsta kukaca. Međutim, reakcije kukaca na mjesečinu nisu jednoznačne – neke vrste izbjegavaju mjesečinu, neke nisu pod njezinim utjecajem, dok druge čak povećavaju svoju aktivnost (McGeachie 1989). Takozvana „lunarna fobija“, odnosno smanjenje aktivnosti šišmiša tijekom punog mjeseca, zabilježena je kod tropskih, prvenstveno frugivornih i sanguivornih vrsta (Turner 1975, Morrison 1978). Aktivnost insektivorne vrste *Lophostoma silvicolum* u tropskim područjima također se smanjuje tijekom punog mjeseca, paralelno sa smanjenjem aktivnosti plijena, pri čemu mjesečina ne djeluje izravno na šišmiše putem povećanog rizika od predatora (Lang i sur. 2006). Perks i Goodenough (2020) sugerirali su da mjesečina može slično utjecati na aktivnost nekih europskih vrsta šišmiša, no korištene metode i interpretacija rezultata tog istraživanja upitni su za ovaj, kao i za druge analizirane parametre. Suprotno tome, hipotezu sličnog ponašanja europskih insektivornih šišmiša opovrgnula su brojna istraživanja (Karlsson i sur. 2002, Roeleke i sur. 2018, Apoznański i sur. 2024). Potencijalni izostanak lunarne fobije u umjerenom pojasu može biti posljedica više čimbenika, uključujući primjenu lovnih strategija veće mobilnosti, manji broj predatora u usporedbi s tropskim područjima te dulja razdoblja sumraka (Apoznański i sur. 2024). Neka opažanja u Europi čak upućuju na mogućnost da vrsta *N. noctula* preferira otvorena staništa tijekom punog mjeseca, što autori tumače kao moguću strategiju povećanja uspješnosti lova na leteće kukce tijekom noći. Ipak, važno je naglasiti da se navedeni zaključci temelje na malom uzorku (promatranja svega devet jedinki) te da u analizi nisu razmotreni potencijalni učinci drugih okolišnih čimbenika, poput brzine vjetra (Roeleke i sur. 2018).

3 MATERIJALI I METODE

3.1 Područje istraživanja

Fauna šišmiša na području Dalmacije odražava visoku bioraznolikost mediteranske regije Republike Hrvatske. Potvrđena je prisutnost 31 vrste zabilježene za regiju, među kojima se kao karakteristične mogu izdvojiti primorski šišmiš (*Hypsugo savii*), dugokrili pršnjak (*Miniopterus schreibersii*), dugonogi šišmiš (*Myotis capaccinii*), oštrouhi šišmiš (*M. blythii*), riđi šišmiš (*M. emarginatus*), veliki šišmiš (*M. myotis*), bjeloruski šišmiš (*Pipistrellus kuhlii*), Kolombatovićev dugoušan (*Plecotus kolombatovici*), Blazijev potkovnjak (*Rhinolophus blasii*), južni potkovnjak (*Rhinolophus euryale*), veliki potkovnjak (*R. ferrumequinum*), mali potkovnjak (*R. hipposideros*) i sredozemni slobodnorepac (*Tadarida teniotis*) (Rnjak i sur. 2023a). Molekularnim analizama potvrđena je i prisutnost kriptičnih vrsta *M. davidii* (Çoraman i sur. 2020) te *M. nattereri nattereri* (Josić i sur. 2024).

Dalmacija kao geografska regija u južnom dijelu Republike Hrvatske obuhvaća područje ukupne površine oko 11960 km². Omeđena je na sjeverozapadu južnim Velebitom i rijekom Zrmanjom, na jugoistoku područjem Konavala do državne granice s Crnom Gorom. S južne i zapadne strane omeđuje ju Jadransko more, a s istočne državna granica s Bosnom i Hercegovinom (LZMK 2026).



Slika 2 Karakterističan krajobraz na kontinentalnom području Dalmacije, prisutan i na istraživanim lokalitetima (Foto: G. Rnjak)

Dalmacija s arhipelagom dio je megageomorfološke regije Dinarskog gorskog sustava. Reljef Dalmacije ima izražena krška obilježja, pri čemu dominira karbonatni sastav (vapnenci, dolomiti). Razvijeni su tipični krški geomorfološki oblici poput škrapa, ponikava, špilja, jama i polja u kršu. Prevladava dinarski pravac planinskih gorskih struktura (SZ – JI) i njima usporednih udolina i manjih zaval. Uski obalni pojas u kombinaciji sa strmo uzdignutim planinskim zaleđem rezultira naglim promjenama nadmorske visine na malim prostornim udaljenostima, što uvjetuje izraženu prostornu heterogenost stanišnih i mikroklimatskih uvjeta (Bognar 2001, Magaš 2013).

Vegetacijski pokrov Dalmacije pripada eumediteranskoj i submediteranskoj vegetacijskoj zoni (Slika 2). U obalnom području i na otocima prevladavaju vazdazelene šume i šikare hrasta crnike (*Quercus ilex*) uz različite degradacijske stadije prirodne šumske vegetacije poput makija, bušika (gariga) i eumediteranskih kamenjarskih travnjaka. U unutrašnjosti i na većim nadmorskim visinama zastupljene su listopadne šume hrasta medunca (*Q. pubescens*) s bijelim (*Carpinus orientalis*) ili crnim grabom (*Ostrya carpinifolia*), također uz različite degradacijske stadije prirodne šumske vegetacije poput dračika i submediteranskih kamenjarskih travnjaka. Dio prostora zauzimaju antropogeno oblikovana staništa, kao što su poljoprivredne površine, naselja i prometna infrastruktura (Alegro 2018).

Klima Dalmacije pod utjecajem je mora i orografije dinarskog planinskog lanca, koji ograničava prodor maritimnih utjecaja u unutrašnjost. Prema Köppenovoj klasifikaciji, u obalnom i otočnom dijelu Dalmacije prevladava sredozemna klima tipa Csa, obilježena suhim i vrućim ljetima i blagim zimama (srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca ≥ 22 °C). U unutrašnjem dijelu regije i na većim nadmorskim visinama zastupljene su umjereno tople vlažne klime s vrućim (Cfa) i toplim ljetom (Cfb) (Šegota i Filipčić 2003).

Prema Zaninović i sur. (2008), srednja godišnja temperatura zraka uz obalu i na otocima srednje i južne Dalmacije iznosi do 17 °C, dok se u dalmatinskom zaleđu postupno smanjuje s porastom nadmorske visine. Vertikalni temperaturni gradijent u dalmatinskom zaleđu iznosi približno 0,6 °C na 100 m, dok je u priobalnom području izraženiji i doseže oko 0,7 °C na 100 m. Godišnje količine oborine relativno su niske, pri čemu obala i otoci srednje i sjeverne Dalmacije primaju približno 800 – 900 mm

oborine godišnje. Količina oborine raste prema planinskom zaleđu zbog orografskog dizanja zračnih masa.

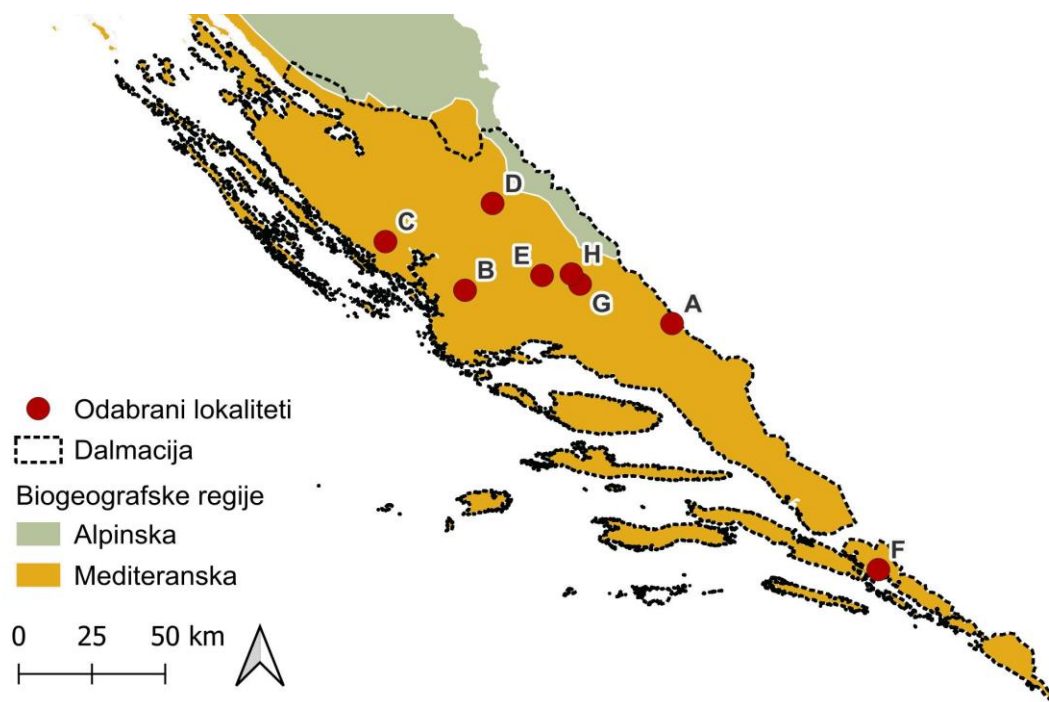
Sušna razdoblja česta su značajka dalmatinske klime, osobito tijekom ljetnih mjeseci, a mogu trajati i dulje od 30 dana. Relativna vlažnost zraka u primorskom području niža je nego u unutrašnjosti Hrvatske, unatoč visokom udjelu vodene pare, što je posljedica visokih temperatura zraka i česte bure. Prosječne godišnje vrijednosti relativne vlažnosti uglavnom se kreću između 65 % i 75 %, uz izražene prostorne razlike između obale, otoka i planinskog zaleđa. Dalmatinska obala i otoci ubrajaju se među najvedrije dijelove Hrvatske, a jaki vjetrovi, osobito bura i jugo, česta su pojava te povremeno dosežu olujnu ili orkansku jačinu.

Mediterranska regija, uključujući Dalmaciju, prepoznata je kao klimatski osjetljivo područje s već zabilježenim porastom srednje temperature zraka od približno 1,5 °C u odnosu na predindustrijsko razdoblje (IPCC 2019). Općenito, Mediteran se smatra jednim od globalnih žarišta klimatskih promjena, pri čemu se zagrijavanje odvija približno 20 % brže od svjetskog prosjeka (Lionello i Scarascia 2018), zbog čega je njegova bioraznolikost posebno osjetljiva na klimatske promjene (Newbold i sur. 2020). Prema Strategiji prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (NN 46/2020), u Dalmaciji je zabilježen dugoročan trend porasta srednjih, minimalnih i maksimalnih temperatura zraka, uz povećanje učestalosti toplih dana i produljenje toplih razdoblja, osobito tijekom ljeta i jeseni. Projicirane promjene oborinskog režima upućuju na blagi porast oborina zimi te smanjenje tijekom ljeta i jeseni, osobito u južnoj Dalmaciji i na otocima, što u kombinaciji s porastom temperature povećava rizik od sušnih razdoblja.

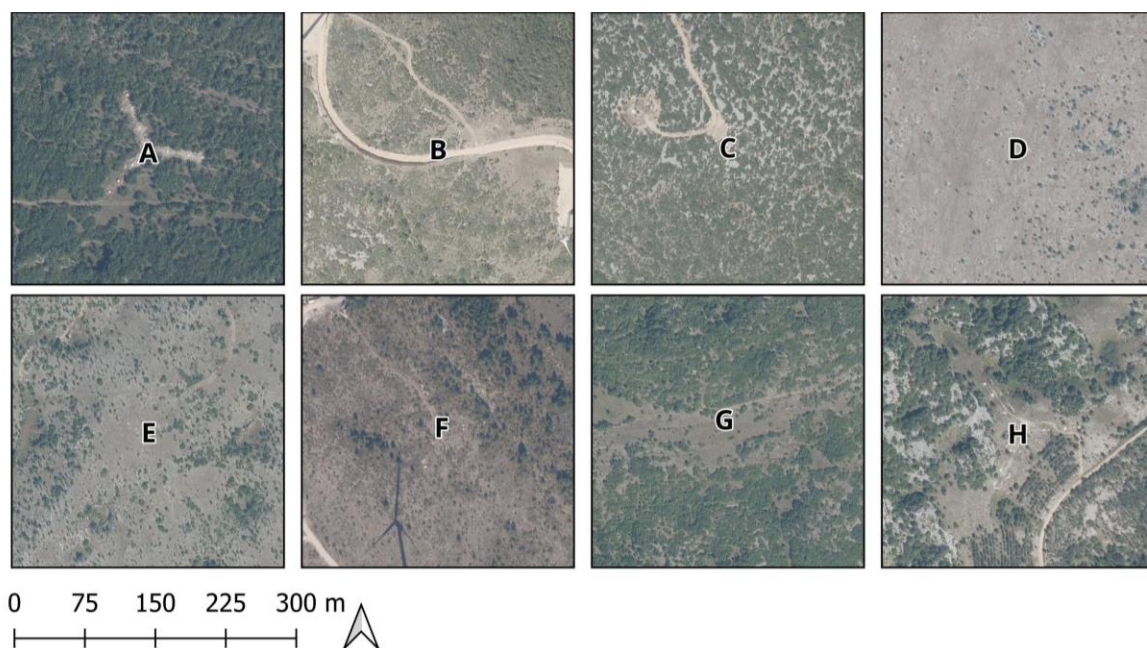
3.2 Lokaliteti i vremenska dinamika terenskih istraživanja

Za potrebe analiza utjecaja mikroklimе na aktivnost šišmiša u Dalmaciji odabrano je osam lokaliteta s mjernim stupovima na kojima je praćena aktivnost šišmiša uz istovremeno mjerenje mikroklimatskih parametara (lokaliteti A – H, Slika 3, Tablica 1). Mjerni stupovi predstavljaju visoke konstrukcije standardno opremljene meteorološkim senzorima za kontinuirana mjerenja mikroklimatskih parametara, koji se uobičajeno postavljaju na budućim lokacijama vjetroelektrana.

Prema nacionalnoj klasifikaciji staništa (Antonić i sur. 2005, Bardi i sur. 2016), na istraživanim lokalitetima prevladavaju istočnojadranski kamenjarski pašnjaci submediteranske i epimediteranske zone, primorske, termofilne šume i šikare medunca (*Q. pubescens*) (lokaliteti A i G), a manjim dijelom i sastojine oštrogličaste borovice (*Juniperus oxycedrus*) (lokalitet B) te istočnojadranski bušici (lokalitet C).



Slika 3 Kartografski prikaz osam odabranih lokaliteta (A – H) s područja Dalmacije korištenih za analizu utjecaja mikroklimе na aktivnost šišmiša u Dalmaciji (Bioportal, MZOZT 2025).



Slika 4 Digitalni ortofoto u mjerilu 1:5000 (2019/20 godina) odabranih lokaliteta s područja Dalmacije (A – H) korištenih za potrebe analiza utjecaja mikroklimе na aktivnost šišmiša (DGU 2023)

Tablica 1 Popis osam odabranih lokaliteta (A – H) s područja Dalmacije korištenih za analizu utjecaja mikroklima na aktivnost šišmiša. Biogeografska (biog.) regija: M – mediteranska. FTV – fizionomski tip vegetacije (prema Škunca i sur. 2013) na udaljenosti do 150 m od točke snimanja: t – travnjačka vegetacija, g – grmolika vegetacija). Ukupni broj noći snimanja (zadnji stupac) po lokalitetu se razlikuje zbog razlika u datumu početka/kraja snimanja i eventualnim kraćim razdobljima tehničkih kvarova prilikom snimanja.

Šifra lokaliteta	Općina	Visina mikrofona (m)	Tip lokaliteta	Nadmorska visina (m)	Biog. regija	FTV 150 m	Razdoblje snimanja	Broj noći snimanja
A	Trilj	55	mjerni stup	780	M	g	ožu – stu 2019	243
B	Šibenik	25	mjerni stup	480	M	g, t	tra – pro 2014 tra – pro 2015 sij – ožu 2016	602
C	Pirovac	45	mjerni stup	176	M	g, t	lip – pro 2018 sij – lip 2019	365
D	Biskupija	60	mjerni stup	350	M	g, t	tra – stu 2021	204
E	Muč	45	mjerni stup	540	M	t	tra – pro 2024	236
F	Dubrovačko primorje	60	mjerni stup	345	M	g, t	tra – stu 2016 ožu – pro 2017	500
G	Sinj	55	mjerni stup	810	M	g, t	svi – lis 2022	160
H	Hrvace	60	mjerni stup	1024	M	g, t	ožu – pro 2018	268

Prema fizionomskim kategorijama vegetacije razvijenima za potrebe utvrđivanja stupnja korištenja prostora od strane šišmiša (Škunca i sur. 2013), svi lokaliteti nalaze se na području travnjačke i grmolike vegetacije, pri čemu grmlje i nisko drveće najčešće ne prelazi visinu od približno 4 m (Slika 4).

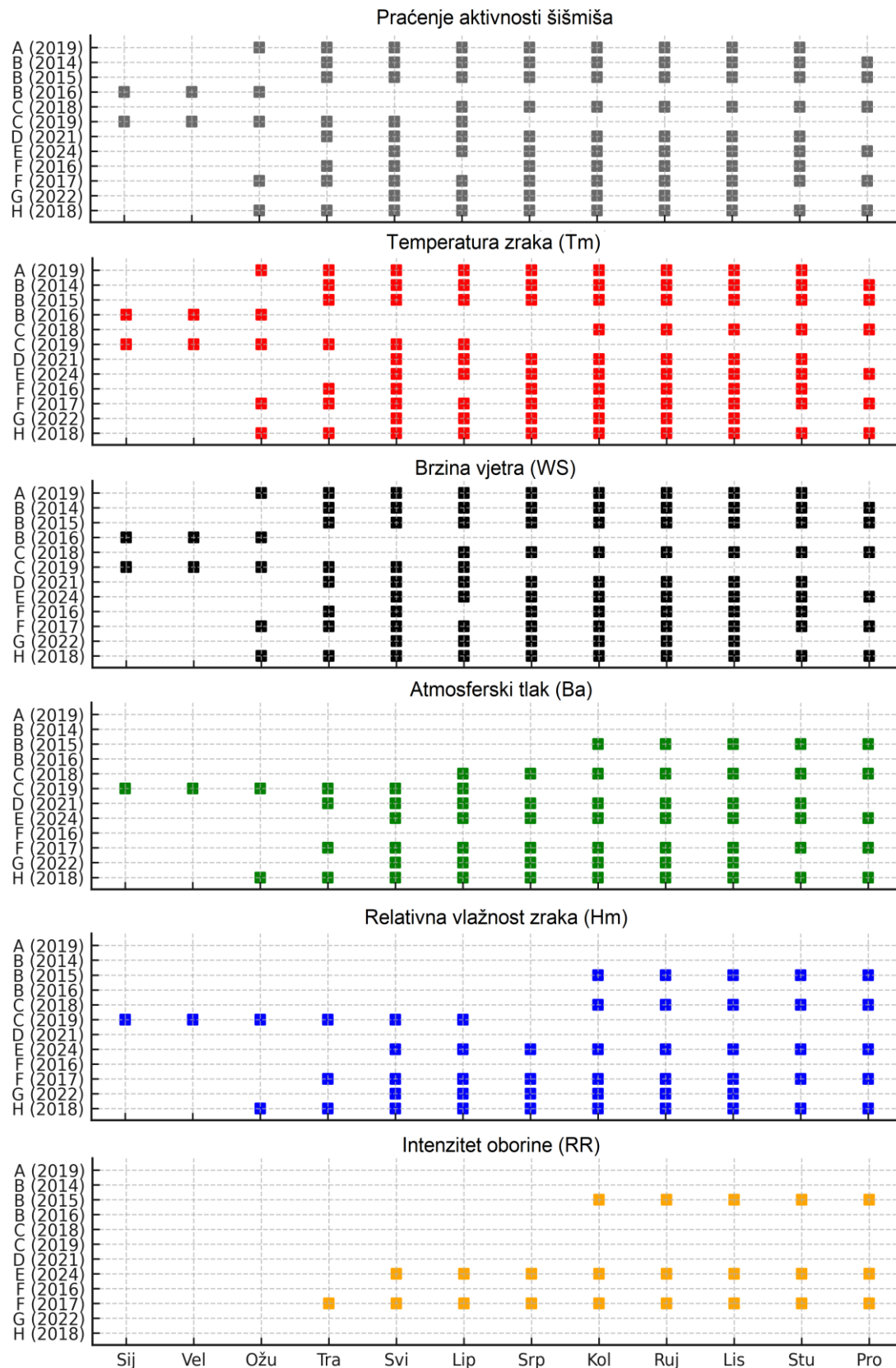
Točke snimanja smještene su unutar akustički otvorenog tipa staništa (Schnitzler i Kalko 2001) kako bi se smanjio utjecaj strukture staništa na aktivnost šišmiša i omogućila jasnija analiza utjecaja mikroklimatskih uvjeta. Odabir otvorenih staništa dodatno je omogućio i detekciju šišmiša na većim udaljenostima koja varira do približno 5 – 150 m ovisno o vrsti, kao i pouzdanije razlikovanje prisutnih vrsta i fonetskih skupina (Barataud 2015). U odnosu na šumska staništa, odabirom lokaliteta na otvorenom tipu staništa smanjena je i vjerojatnost prisutnosti neposrednih skloništa

u blizini detektora, koja bi mogla lokalno povećati zabilježenu aktivnost i time otežati interpretaciju rezultata. Pri tom na udaljenosti do 1 km od točaka snimanja nisu utvrđeni ni drugi tipovi značajnih podzemnih ili nadzemnih skloništa šišmiša (Rnjak i sur. 2023a).

Izbjegavanjem lokaliteta u čijoj se blizini nalaze rasvjetna tijela ili slatkovodne površine, poput lokvi koje šišmiši često koriste prilikom lova, smanjena je mogućnost pseudo-replikacije podataka o aktivnosti šišmiša. Najbliže lokve nalaze se uz lokalitet H (300 m), dok su na ostalim lokalitetima udaljene više od 500 m, u skladu s preporukama odabira lokaliteta za kontinuirano snimanje glasanja šišmiša (Rnjak i sur. 2023a).

Postavljanjem ultrazvučnih mikrofona na visine između 25 i 60 m iznad tla (ovisno o tehničkim mogućnostima i sigurnosnim uvjetima penjanja na mjerne stupove) dodatno se nastojala smanjiti mogućnost pseudo-replikacije podataka, budući da se mnoge vrste tijekom hranjenja češće zadržavaju bliže tlu i vegetaciji. Istodobno se takvim rasporedom povećao doseg detekcije vrsta koje koriste veće visine prilikom leta, osobito tijekom sezonskih migracija (Roemer i sur. 2017).

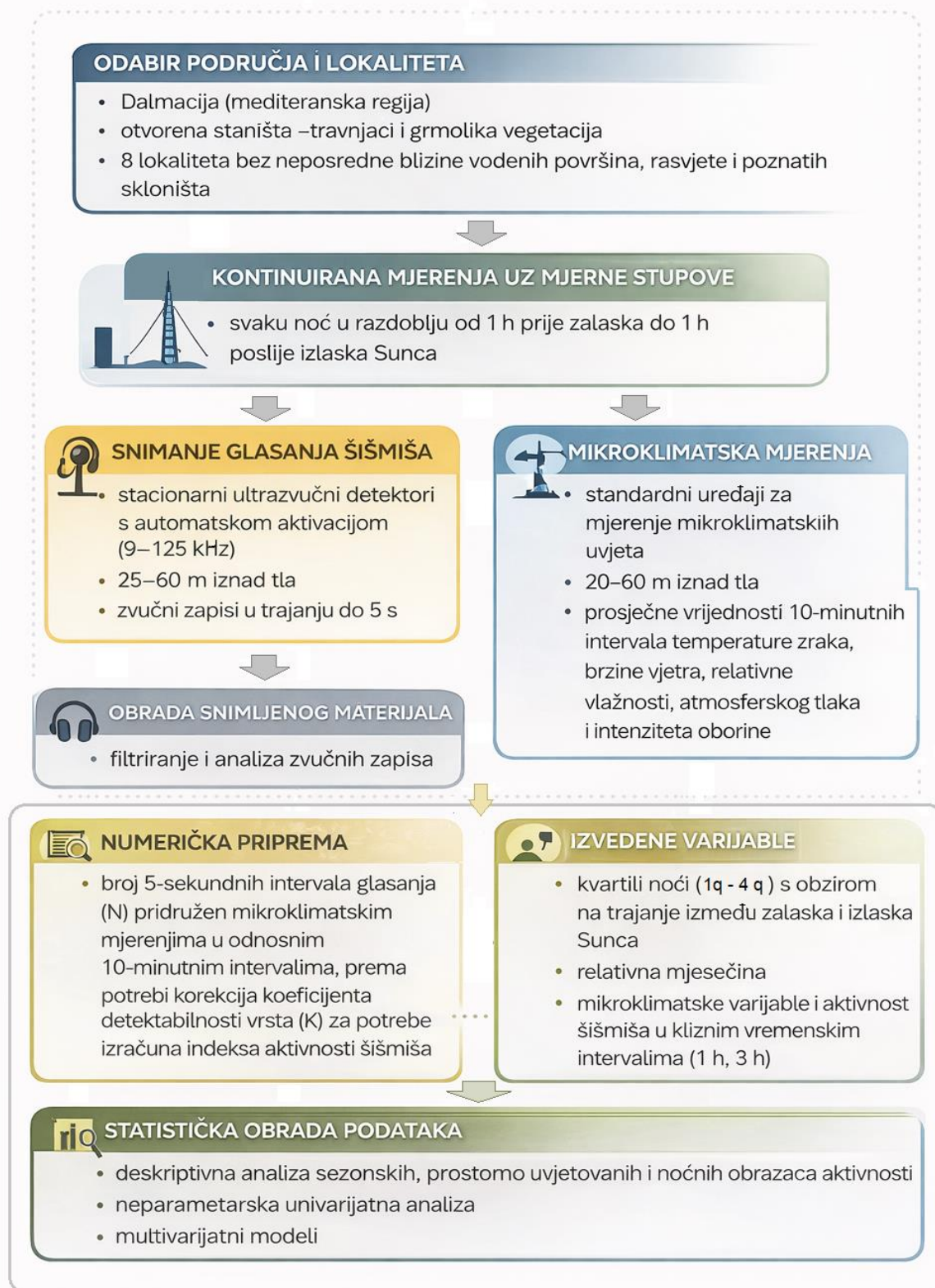
Terenska istraživanja provedena su u razdoblju od 2014. do 2024. godine, uglavnom u sklopu izrade stručnih podloga za potrebe procjena utjecaja vjetroelektrana na okoliš. Mikroklimatska mjerenja unutar tog razdoblja varirala su s obzirom na dostupnost i funkcionalnost pojedinih senzora na pojedinom mjernom stupu, ovisno o lokalitetu (anemometri, senzori temperature, relativne vlažnosti i tlaka). Slika 5 prikazuje dinamiku praćenja aktivnosti šišmiša kroz mjesece u godini po lokalitetima i kalendarskim godinama, kao i dostupnost podataka o mjerenjima mikroklimatskih parametara tijekom istraživanja. Ukupno je provedeno 2578 noći snimanja, odnosno 34532,5 sati akustičkog praćenja. Slika 6 prikazuje shemu korištene metodologije koja je detaljno razrađena u nastavku rada (poglavlja 3.3 – 3.5).



Slika 5 Prikaz dinamike praćenja aktivnosti šišmiša kroz mjesece u godini po lokalitetima (A – H) i kalendarskim godinama te dostupnost podataka o mjerenjima mikroklimatskih parametara u razdobljima praćenja.



Shematski prikaz osnovne metodologije istraživanja utjecaja mikroklimе na aktivnost šišmiša



Slika 6 Shematski prikaz osnovne metodologije istraživanja utjecaja mikroklimе na aktivnost šišmiša.

3.3 Praćenje aktivnosti šišmiša

3.3.1 Snimanje glasanja za potrebe praćenja aktivnosti šišmiša

U svrhu praćenja aktivnosti šišmiša korišteni su stacionarni ultrazvučni detektori koji su kontinuirano snimali zvučne zapise svake noći, od jednog sata prije zalaska do jednog sata nakon izlaska Sunca. Korištena metodologija i oprema u skladu su sa standardnim metodama praćenja šišmiša (npr. Rodrigues i sur. 2015, Rnjak i sur. 2023a). Zvučni zapisi bilježeni su u segmentima u trajanju do 5 s (u daljnjem tekstu: 5 s snimke) u punom spektru i realnom vremenu (FS, eng. *full spectrum direct sampling*), s automatskom aktivacijom na glasanja u frekvencijskom rasponu 9 – 125 kHz. Korišteni su modeli Wildlife Acoustics Song Meter SM2BAT+ s mikrofonom SMX-U1 / Song Meter SM4BAT-FS s mikrofonom SMM-U1, uz sustav napajanja putem solarnih panela, uz sljedeće postavke: Sample Rate 384 / 192 kHz, Gain 12 dB, Trigger Level 12 SNR, High-pass filter 8 kHz. Model SM4BAT-FS predstavlja noviju generaciju uređaja u odnosu na SM2BAT+, pri čemu oba modela koriste usporedivu tehnologiju snimanja. Tijekom istraživanja korišten je jedan ili drugi model, ovisno o razdoblju provedbe monitoringa i dostupnosti opreme. Postavljanje opreme provedeno je uz primjenu odgovarajuće tehničke i sigurnosne opreme za rad na visini (Slika 7). Podaci su pohranjivani na SDHC memorijske kartice s kojih su se podaci preuzimali otprilike jednom mjesečno, svaki put uz testiranje ispravnosti mikrofona.

3.3.2 Obrada snimljenog materijala za potrebe praćenja aktivnosti šišmiša

Prikupljen zvučni materijal preliminarno je obrađen programom Kaleidoscope za automatsko prepoznavanje zvučnih zapisa šišmiša (v. 5.4.2; Wildlife Acoustics), kojim su snimke na kojima su zabilježeni šišmiši odvojene od snimki pozadinskih šumova koji su dodatno aktivirali ultrazvučne detektore (npr. vjetar, kiša). Nakon automatske selekcije provedena je dodatna provjera izdvojenog skupa snimki pregledom sonograma uz programsku podršku paketa „Batview“ (Geonatura d.o.o.). Detaljna audio-analiza snimljenog glasanja provedena je pomoću specijaliziranog programa za analizu glasanja šišmiša BatExplorer (v. 2.2.6.0; Elekon AG) (Slika 7). Za svaku 5-sekundnu snimku, na temelju značajki eholokacije (Barataud 2015), određena je jedna ili više vrsta, odnosno fonetskih skupina u slučajevima kada pouzdana determinacija na razini vrste nije bila moguća zbog sličnosti signala.



Slika 7 Praćenje aktivnosti šišmiša: A – mjerni stup i označen položaj mikrofona (lokalitet G); B – mikrofona na mjernom stupu; C – pogled s točke snimanja na mjernom stupu (lokalitet F); D – preuzimanje podataka s ultrazvučnog detektora; E – ultrazvučni detektor Song Meter SM4BAT FS za snimanje glasanja; F – Glasanje šišmiša u specijaliziranom programu BatExplorer (v. 2.2.6.0) (Foto: G. Rnjak, D. Rnjak).

3.4 Mjerenje mikroklimatskih uvjeta

Na mjernim stupovima prikupljani su podaci o mikroklimatskim uvjetima, uključujući temperaturu zraka (T_m , °C), brzinu vjetra (WS , m/s), relativnu vlažnost zraka tj. stupanj zasićenosti zraka vodenom parom (H_m , %), atmosferski tlak (B_a , hPa) te intenzitet oborine (RR , mm/h). Dostupnost podataka o mjerenjima mikroklimatskih parametara tijekom istraživanja prikazana je u poglavlju 3.2 Lokaliteti i vremenska dinamika terenskih istraživanja.

Mjerenja su provedena u kontinuitetu, a u analizama su korištene prosječne vrijednosti 10-minutnih vremenskih intervala, ovisno o dostupnosti i funkcionalnosti pojedinih senzora na istraživanim lokalitetima (anemometri, senzori temperature, relativne vlažnosti i tlaka) koje su postavljene na različitim visinama ovisno o mjernom stupu.

Dodatni mikroklimatski podaci prikupljeni su pomoću meteorološke postaje Davis Vantage Pro2 postavljene na mjerni stup na lokalitetima gdje je bilo moguće njeno korištenje. Tim su mjerenjima obuhvaćeni podaci o intenzitetu oborine, atmosferskom tlaku i relativnoj vlažnosti zraka na lokalitetima B i F, kao i kompletan skup mikroklimatskih mjerenja na lokalitetu E.

Visine na kojima su provedena mjerenja za svaki parametar navedene su u Prilogu 2b. S obzirom da se na većini mjernih stupova brzina vjetra mjeri na više visina, u analizama su korišteni podaci s visina najbližih visini mikrofona za praćenje aktivnosti šišmiša. Mjerenja s meteorološkom postajom Davis Vantage Pro2 provedena su 20 m iznad tla, odnosno najviše moguće s obzirom na tehničke uvjete postavljanja navedene opreme.

3.5 Numerička i statistička obrada podataka

Statističke analize i vizualizacije provedene su u programskom jeziku R (v. 4.3.2; R Core Team 2023) u razvojnom okruženju RStudio (v. 2023.09.1; Posit Team 2023). Dodatna obrada podataka provedena je u programima Statistica (v. 14.0; TIBCO Software Inc.) i Microsoft Excel (Microsoft Office 365). Prostorne analize provedene su u programu QGIS (v. 3.34.4; QGIS Development Team 2023).

Kao osnovna jedinica praćenja intenziteta aktivnosti šišmiša korišten je broj 5-sekundnih snimki, odnosno zvučnih zapisa do 5 sekundi trajanja (N), unutar kojih je zabilježeno glasanje šišmiša određene vrste / fonetske skupine u jedinici vremena (5-sekundnih snimki) kao i u sličnim istraživanjima (Behr i sur. 2017, Appel i sur. 2019, Rnjak i sur. 2023a, 2023b). Ova vrijednost predstavlja procjenu intenziteta aktivnosti, a ne izravnu procjenu brojnosti jedinki.

Ovisno o obilježjima signala (karakterističnog za pojedine vrste), različite vrste šišmiša mogu se detektirati na većim ili manjim udaljenostima od mikrofona, odnosno češće ili rjeđe. Stoga je za dio analiza koje uključuju usporedbu većeg broja vrsta i/ili fonetskih skupina te usporedbu robusnosti modela, zbroj 5-sekundnih snimki korigiran specifičnim koeficijentom detektabilnosti (K) prema Barataud (2015) za svaku vrstu / fonetsku skupinu (NK) i pridružen bazi podataka prosječnih vrijednosti izmjerenih mikroklimatskih parametara u odnosnim 10–minutnim vremenskim intervalima.

S obzirom na razlike u dinamici prikupljanja podataka među lokalitetima, mjesecima i godinama, usporedbe aktivnosti šišmiša između lokaliteta, sezona, dijelova noći i pojedinih vrsta / fonetskih skupina temeljene su na relativnim indeksima aktivnosti, a ne na izravnim kvantitativnim usporedbama ukupno zabilježene aktivnosti. Indeks aktivnosti izračunat je kao broj 5-sekundnih snimki sa zabilježenim glasanjem šišmiša (N), korigiran koeficijentom detektabilnosti specifičnim za pojedinu vrstu ili fonetsku skupinu (K), izražen po 10-minutnom intervalu ($NK/10 \text{ min}$) ili satu snimanja (NK/h).

S obzirom da se atmosferski tlak u prosjeku smanjuje s porastom nadmorske visine (koja znatno varira među istraživanim lokalitetima; usporedi Tablicu 1), mjerenja tlaka s različitih lokaliteta (Ba_s) reducirana su i na razinu mora (Ba_0) primjenom linearne aproksimacije koja pretpostavlja smanjenje tlaka od približno 1 hPa na 8,5 m nadmorske visine (Pandžić 2008). Iako barometarska formula omogućuje precizniju

korekciju uz uvažavanje temperature zraka, takav pristup zahtijeva poznavanje vertikalnog temperaturnog profila atmosfere, koji u ovom istraživanju nije bio dostupan.

Mjesečina nije mjerena *in situ*, nego je za svaki 10-minutni interval procijenjena relativna mjesečina kao pokazatelj potencijalne dostupnosti noćne mjesečine, bez uključivanja naoblake. Izračunata je kao pojednostavljeni indeks temeljen na astronomskim podacima o udjelu osvijetljenosti ($0 - 1$) i visini Mjeseca u radijanima (relativna mjesečina = udio mjesečeve osvijetljenosti $\times \max(0, \sin(\text{visina Mjeseca}))$), pomoću R paketa *suncalc*, na temelju vremena i geografskih koordinata lokaliteta, prema standardnim astronomskim algoritmima (Meeus 1991). Takav pristup predstavlja pojednostavljenu aproksimaciju dostupnosti mjesečine, dok složeniji modeli uključuju i druge korekcije (npr. Šmielak 2023). U mnogim istraživanjima koriste se još jednostavniji pokazatelji poput faze Mjeseca ili udjela osvijetljenosti bez drugih čimbenika (Appel i sur. 2019, Fjellidal i sur. 2021, Winter i sur. 2025).

Kao potencijalne nezavisne kategorične varijable dodijeljene svakom 10-minutnom vremenskom intervalu razmatrani su lokaliteti, mjeseci, sezone (proljeće: ožujak – svibanj, ljeće: lipanj – kolovoz, jesen: rujanj – studeni, zima: prosinac – veljača) i kvartili trajanja noći ($1q - 4q$) u odnosu na ukupno trajanje noći između zalaska i izlaska Sunca. Relativni dijelovi noći, odnosno kvartili, korišteni su radi standardizacije usporedbe aktivnosti, budući da aktivnost šišmiša nije ujednačena tijekom noći, a njezino se trajanje tijekom godine znatno mijenja. Vrijeme zalaska Sunca izračunato je kao trenutak kad Sunce potpuno nestane na horizontu, odnosno izlazak kad se Sunce počne pojavljivati. Prilikom eksplorativne analize razmotren je mogući utjecaj nadmorske visine i prostornog položaja lokaliteta na aktivnost šišmiša (geografska širina i dužina te udaljenost od mora).

Kao potencijalne kontinuirane nezavisne varijable razmatran je datum početka noći snimanja preračunat u julijanski (redni) broj dana u godini, udio noći na kontinuiranoj skali, relativna mjesečina te prosječne vrijednosti za dostupna mjerenja temperature zraka (T_m), brzine vjetrova (WS), relativne vlažnosti zraka (H_m), atmosferskog tlaka na razini postaje (Ba_s) i razine mora (Ba_0) te intenziteta oborine (RR).

Budući da reakcija aktivnosti šišmiša na mikroklimatske uvjete može biti trenutačna ili odgođena, za izradu regresijskih modela dodatno su izvedene nezavisne varijable za

tzv. klizne vremenske intervale u trajanju od 1 h i 3 h za svaki 10-minutni interval na svakom od lokaliteta. Aktivnost je izračunata na temelju vrijednosti nakon promatranog 10-minutnog intervala, a izvedene mikroklimatske varijable izračunate su na temelju intervala koje prethode promatranom 10-minutnom intervalu, kako bi predstavljale uvjete koji su prethodili zabilježenoj aktivnosti. Tablica 2 prikazuje vremenske intervale i izvedene varijable izračunate na sljedeći način:

- zbroj: $*_sum$ = zbroj vrijednosti unutar vremenskog intervala
- prosjek: $*_avg$ = prosječna vrijednost unutar vremenskog intervala
- smjer i veličina promjene kroz vrijeme: $*_diff$ = zadnja vrijednost – prva vrijednost unutar vremenskog intervala
- varijabilnost: $*_chng_rang$ = (maksimalna vrijednost – minimalna vrijednost unutar vremenskog intervala) / maksimalna vrijednost za lokalitet – minimalna vrijednost za lokalitet

Tablica 2 Klizni vremenski intervali i izvedene varijable za aktivnost šišmiša i mikroklimatske parametre na razini 10-minutnih intervala ($*_sum$ – zbroj vrijednosti unutar intervala; $*_avg$ – prosječna vrijednost unutar intervala; $*_diff$ – mjera promjene kao razlika između zadnje i prve vrijednosti intervala; $*_chng_rang$ – mjera varijabilnosti kao relativni raspon vrijednosti (maks – min) unutar intervala u odnosu na ukupni raspon vrijednosti na lokalitetu)

Skup varijabli	Vremenski interval	Definicija intervala	Izvedene varijable	Opis
Zavisne varijable aktivnosti šišmiša N – zbroj 5 s snimki NK – zbroj 5 s snimki korigiran koef. detektabilnosti	1 h	promatrani + 5 sljedećih intervala (6 × 10 min)	$*_sum$	zbroj
	3 h	promatrani + 17 sljedećih intervala (18 × 10 min)	$*_sum$	zbroj
Nezavisne mikroklimatske varijable Tm – temperatura WS – vjetar Ba – atmosferski tlak Hm – relativna vlažnost	1 h	promatrani + 5 prethodnih intervala (6 × 10 min)	$*_avg$, $*_diff$, $*_chng_rang$	prosjek, promjena (smjer i veličina), varijabilnost
	3 h	promatrani + 17 prethodnih intervala (18 × 10 min)	$*_avg$, $*_diff$, $*_chng_rang$	prosjek, promjena (smjer i veličina), varijabilnost

3.5.1 Osnovna statistička obrada podataka

Aktivnost šišmiša najprije je analizirana primjenom deskriptivnih grafičkih prikaza i neparametarskih testova, uzimajući u obzir sezonsku dinamiku, doba noći, razlike između lokaliteta te vrsta i fonetskih skupina.

Za testiranje statistički značajnih razlika u aktivnosti šišmiša između parova kvartila iste noći na pojedinim lokalitetima korišten je **Wilcoxonov test rangova za dva zavisna uzorka** (Corder i Forman 2014).

Razlike u indeksu aktivnosti šišmiša između kvartila vrijednosti pojedinih mikroklimatskih parametara testirane su **Kruskal–Wallisovim testom**, zasebno po lokalitetima i sezonama. U slučajevima statistički značajnih rezultata provedena je naknadna analiza primjenom **Dunnova post hoc testa** s ciljem utvrđivanja razlika između pojedinih parova skupina (Corder i Forman 2014).

3.5.2 Multivarijatni modeli

Slika 8 prikazuje shemu analitičkog postupka razvoja osnovnog multivarijatnog modela detaljnije opisanog u nastavku ovog poglavlja. Iz modela su isključeni podaci prikupljeni tijekom zimskog razdoblja (prosinac – veljača), kao i snimanja provedena unutar jednog sata prije zalaska i jednog sata nakon izlaska Sunca, kada je aktivnost šišmiša bila vrlo niska ili izostala. Na taj način analiza je ograničena na razdoblje i vremenske intervale u kojima se očekuje redovita noćna aktivnost šišmiša. Zbog ograničenog uzorka, intenzitet oborine također nije uključen u multivarijatne modele, već je analiziran zasebno na temelju deskriptivnih analiza.

3.5.2.1 Pripremne numeričke analize

Prije izrade modela provedena je eksplorativna analiza potencijalnih zavisnih i nezavisnih varijabli (Zuur i sur. 2009, 2010). Vizualno su procijenjena njihova distribucijska obilježja (histogrami, Box-whisker dijagrami), a međusobna povezanost potencijalnih nezavisnih varijabli ispitana je korištenjem parnih dijagrama raspršenja (eng. *pairwise scatterplots*) i korelacijskih analiza. Kao kriterij za potencijalnu kolinearnost korišten je prag apsolutne vrijednosti Pearson koeficijenta korelacije $|r| > 0,6$ (Zuur i sur. 2009, 2010). Varijable koje su prelazile navedene pragove nisu istodobno uključivane u iste modele.



Slika 8 Shema analitičkog postupka razvoja multivarijatnog modela (GLM – generalizirani linearni model, GAM – generalizirani aditivni model, GAMM – generalizirani aditivni mješoviti model, N – zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša, NK – zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša korigiran koeficijentom detektabilnosti prema Barataud (2015), AIC – Akaikeov informacijski kriterij).

3.5.2.2 Odabir zavisne varijable i osnovnog modela

Kao zavisna varijabla u početnim analizama korišten je zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša na razini 10-minutnih intervala (N_{10min}). Zbog velikog udjela nultih opažanja (90,8 %) primijenjen je **dvodijelni (eng. hurdle) model** (Zuur i sur. 2009), kojim se odvojeno modeliraju vjerojatnost pojave aktivnosti ($N = 0 / N > 0$) i intenzitet aktivnosti ($N > 0$). Sličan pristup korišten je i u sličnim novijim istraživanjima aktivnosti šišmiša (Laurence i sur. 2024).

Početno modeliranje provedeno je primjenom generaliziranih linearnih modela (GLM) uz julijanski dan ($julian_day$) i udio noći ($night_scale$, 0 – 1) kao prediktore. Za pojavu aktivnosti korištena je **binomna distribucija**. Za intenzitet aktivnosti testirane su Poissonova i negativna binomna distribucija (Zuur i sur. 2009), pri čemu je model s Poissonovom distribucijom rezultirao s prekomjernom disperzijom Pearsonovih reziduala (kao i kod drugih sličnih istraživanja, npr. Behr i sur. 2018), pa je stoga za daljnje analize korištena **negativna binomna distribucija**.

Unatoč tome, model intenziteta i dalje je pokazivao nestabilnost zbog izražene asimetrije podataka i velikog udjela vrijednosti 1 (53,2 %). Kao zavisna varijabla stoga je odabrana **agregirana aktivnost u kliznom jednosatnom intervalu (N_sum_1h)**, pri čemu je za svaki 10-minutni interval izračunat zbroj aktivnosti zabilježene tijekom tog i sljedećih pet 10-minutnih intervala (Tablica 2). Time je zadržana vremenska rezolucija od 10 minuta, povećana varijabilnost zavisne varijable i smanjen udio nultih opažanja, što je omogućilo stabilniju procjenu modela. Takav pristup ujedno je uzeo u obzir mogućnost odgođenog odgovora aktivnosti šišmiša na mikroklimatske uvjete. Budući da je svaki zapis i dalje vezan uz svoj 10-minutni interval i pripadajući kvartil noći, agregiranje nije utjecalo na analizu noćne dinamike aktivnosti.

Zatim je procijenjena sposobnost modela u opisivanju sezonske i noćne dinamike aktivnosti. Budući da GLM nije adekvatno opisivao sezonsku dinamiku, primijenjeno je generalizirano aditivno modeliranje (GAM) koje omogućuje fleksibilnije modeliranje nelinearnih odnosa (Zuur i sur. 2009). Nakon preliminarnog testiranja više varijanti modela, kao konačan je usvojen model u kojem je noćna dinamika modelirana kategoričnom varijablom kvartila noći (Q_night), dok je sezonska dinamika modelirana zasebnim glatkim funkcijama **centriranog julijanskog dana za svaki kvartil noći ($s(julian_day_c, by = Q_night)$)**.

Uz prediktore koji opisuju sezonsku i noćnu dinamiku aktivnosti, osnovna struktura modela uključila je i **relativnu mjesečinu (moon_effective)**, kako bi se omogućila procjena njezina potencijalnog utjecaja na pojavu i intenzitet aktivnosti šišmiša.

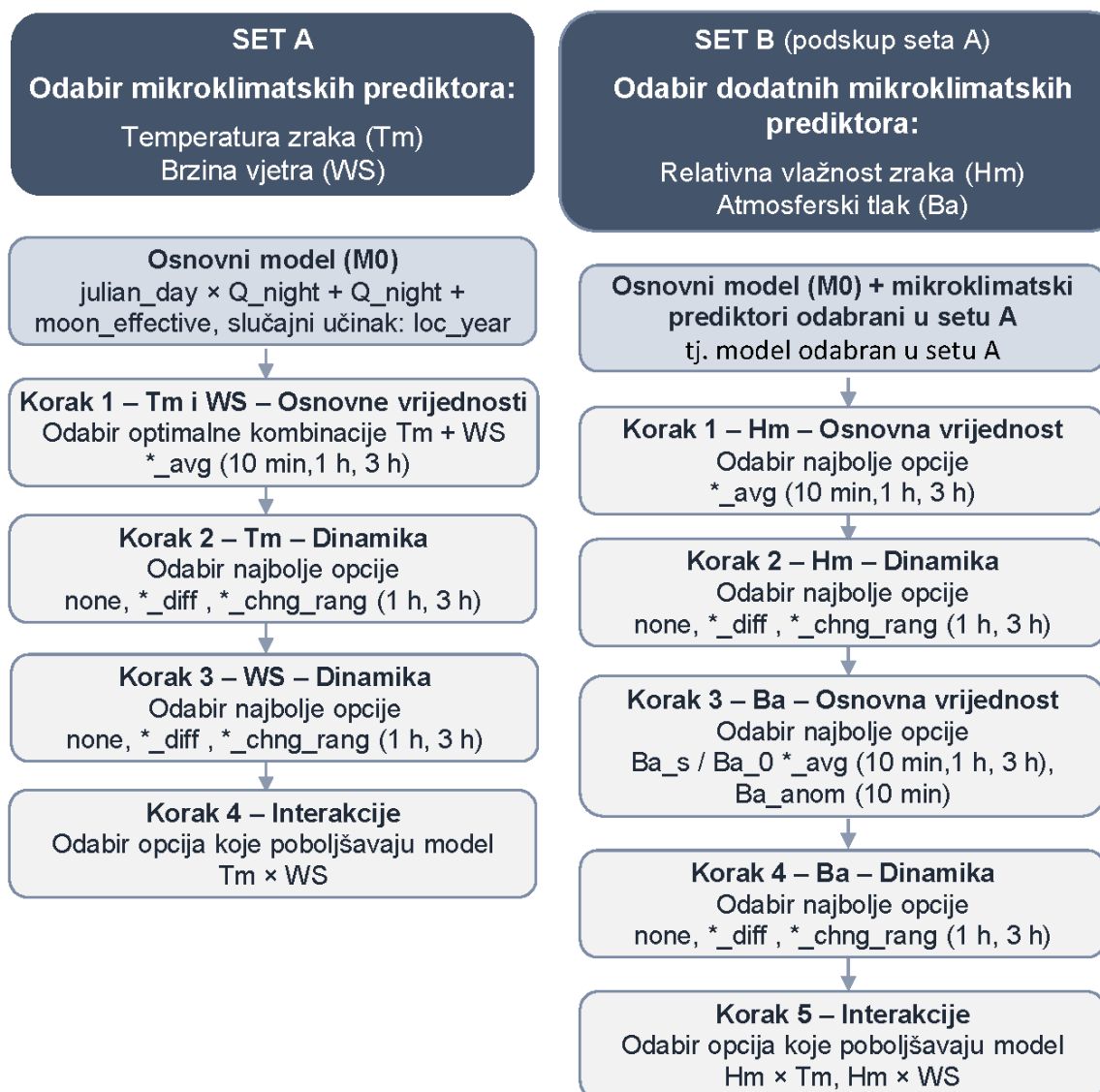
Kako bi se uzele u obzir i razlike između lokaliteta i godina, u model je naknadno uključen i **slučajni učinak lokalitet_godina (s(loc_year, bs = "re"))**, čime je osnovni model (GAM) proširen u **generalizirani aditivni mješoviti model (GAMM; Smith i McWilliams 2016, Behr i sur. 2018, Lagerveld i sur. 2021, Rodríguez-San Pedro i sur. 2024)**.

3.5.2.3 Odabir mikroklimatskih prediktora za potrebe izrade završnog modela

S obzirom na veliki broj nezavisnih varijabli, odabir mikroklimatskih prediktora proveden je usporedbom niza preliminarnih modela, pri čemu je kao nulti model korišten prethodno opisani osnovni dvodijelni (*hurdle*) GAMM model. Na njega su hijerarhijski dodavani i uspoređivani mikroklimatski prediktori, pri čemu je završni model obuhvaćao osnovni model i odabranu kombinaciju mikroklimatskih prediktora.

Modeli su prvenstveno uspoređivani pomoću Akaikeova informacijskog kriterija (AIC) (Burnham i Anderson 2002), kao i u drugim sličnim istraživanjima (npr. Barros i sur. 2021, de Jong i sur. 2021, Rodríguez-San Pedro i sur. 2024). Prema preporuci Burnhama i Andersona (2002), modeli s razlikom $\Delta AIC < 2$ smatraju se praktično jednako dobrima. U ovom istraživanju razlike između alternativnih modela bile su često veće od 50, a nerijetko i od 100 jedinica AIC-a. Samo u slučaju alternativnih reprezentacija atmosferskog tlaka, kod kojih su modeli pokazivali jednaki udio objašnjene devijance u odnosu na model bez prediktora (Dev_expl) i prilagođeni koeficijent determinacije (R^2_{adj}), uz relativno malu razliku u vrijednosti AIC-a u odnosu na ostale uspoređivane modele, pri odabiru prediktora prednost je dana onome koji je omogućavao jednostavniju interpretaciju rezultata.

Odabir mikroklimatskih prediktora proveden je hijerarhijski na dva skupa podataka (set A i set B), pri čemu su prediktori odabrani u setu A korišteni kao polazište za daljnji odabir prediktora u setu B. Set B predstavljao je podskup seta A u kojem su, uz temperaturu zraka i brzinu vjeta, bila dostupna i mjerenja relativne vlažnosti zraka te atmosferskog tlaka (Slika 9).



Slika 9 Shema analitičkog postupka hijerarhijskog odabira mikroklimatskih prediktora za završni model (Ba_s – stanični atmosferski tlak tj. na razini postaje, Ba_0 – tlak reduciran na razinu mora, Ba_anom – anomalija tlaka, *_avg – prosječna vrijednost, none – bez uključene promjene ili varijabilnosti, *_diff – promjena, *_chngrang – varijabilnost tj. raspon promjene, julian_day – julijanski dan, Q_night – kvantili noći (1q, 2q, 3q, 4q), moon_effective – relativna mjesečina, loc_year – lokalitet_godina).

A. Set A – temperatura zraka i brzina vjetra

Set A uključivao je sva dostupna mjerenja temperature i brzine vjetra, odnosno 137524 opažanja (lokaliteti A – H). Najprije su uspoređene prosječne vrijednosti temperature i brzine vjetra (*_avg) na razini 10 min, 1 h i 3 h. Zatim je procijenjen doprinos dinamike, tj. promjena i varijabilnosti temperature i brzine vjetra (*_diff, *_chngrang) na razini 1 h i 3 h. Odabrana je samo po jedna varijabla dinamike temperature i brzine vjetra, koja je pokazala najbolju prilagodbu modela prema AIC kriteriju. U završnom koraku analiziran je doprinos interakcije temperature i brzine vjetra.

B. Set B – dodatni doprinos relativne vlažnosti zraka i atmosferskog tlaka

Set B uključivao je mjerenja temperature zraka i brzine vjetra za koja su ujedno bila dostupna i mjerenja relativne vlažnosti zraka te atmosferskog tlaka, odnosno 73663 opažanja (lokaliteti B, C, E, F, G, H). Prediktori temperature i brzine vjetra preuzeti su iz analize seta A. Za relativnu vlažnost najprije su uspoređene prosječne vrijednosti (*_avg) na vremenskim skalama od 10 min, 1 h i 3 h, a zatim doprinos promjena i varijabilnosti (*_diff i *_chng_rang) na razini od 1 h i 3 h. Za atmosferski tlak primijenjen je isti postupak, pri čemu su uspoređene prosječne vrijednosti tlaka na razini postaje (Ba_s) i na razini mora (Ba_0) te anomalija tlaka (Ba_anom), a zatim i doprinos promjena i varijabilnosti. Na kraju je analiziran i doprinos interakcija s potencijalnim najvećim biološkim značenjem, odnosno interakcije relativne vlažnosti s temperaturom zraka i brzinom vjetra.

3.5.2.4 Dodatna testiranja završnog modela

Provjera modela nakon odabira mikroklimatskih prediktora (GAM dijagnostika prema Zuur i sur. 2009) potvrdila je da je binomni dio modela dobro specificiran, dok su u negativno-binomnom dijelu modela intenziteta utvrđena odstupanja reziduala od pretpostavki modela. S obzirom na to da aktivnost šišmiša obilježavaju povremeni kratkotrajni vrhunci vrlo visoke aktivnosti koje je teško u potpunosti predvidjeti, takva odstupanja nisu neočekivana te su uzeta u obzir pri interpretaciji rezultata.

Provedena su dodatna testiranja kako bi se procijenilo poboljšavaju li alternativne varijante modela stabilnost, preciznost i interpretaciju rezultata. Pri tome su razmatrani konzistentnost smjera i relativna jačina učinka prediktora, udio objašnjene devijance u odnosu na model bez prediktora (Dev_expl) i varijabilnosti, odnosno prilagođeni koeficijent determinacije (R^2_{adj}).

Za model intenziteta aktivnosti dodatno je testiran binomni model ($N = 1 / N > 1$), koji je pokazao dobru dijagnostiku i slične obrasce učinka mikroklimatskih prediktora kao negativno-binomni model, ali očekivano manji udio objašnjene devijance i prilagođeni koeficijent determinacije jer gubi informaciju o stvarnom intenzitetu aktivnosti. Negativno-binomni model stoga je zadržan kao završni model.

Model koji kao zavisnu varijablu koristi agregiranu aktivnost na razini 3 h (N_sum_3h), pokazao je lošiju kombinaciju stabilnosti modela i interpretacije rezultata, kao i

korištenje varijable korigiranog zbroja 5 s snimki aktivnosti šišmiša (NK_sum_1h, NK_sum_3h), stoga je N_sum_1h zadržana kao zavisna varijabla.

Budući da se klizni vremenski intervali na razini 10-minutnih intervala preklapaju i time potencijalno smanjuju nezavisnost opažanja, provedena je analiza osjetljivosti usporedbom završnog modela s modelom u kojem je zadržan svaki šesti 10-minutni interval. Usporedba je pokazala vrlo slične obrasce, pri čemu je model s punim skupom podataka imao veći udio objašnjene devijance i prilagođeni koeficijent determinacije, stoga je zadržan kao završni model.

3.5.2.5 Analize na temelju završnog modela

S ciljem testiranja pokazuju li šišmiši slične ekologije ujedno i slične odgovore na mikroklimatske uvjete, završni dvodijelni (*hurdle*) GAMM model s odabranim mikroklimatskim prediktorima primijenjen je na ukupnu aktivnost šišmiša, a zatim i zasebno na dominantne vrste i fonetske skupine.

Zbog povećane složenosti modela, učinak mikroklimatske u ovisnosti o noćnoj i sezonskoj aktivnosti šišmiša analiziran je naknadno, usporedbom modela koji uključuju i interakcije odabranih osnovnih mikroklimatskih prediktora s kvartilima noći, a zatim i sa sezonom kao kategoričkom varijablom (proljeće: ožujak – svibanj, ljeto: lipanj – kolovoz, jesen: rujan – studeni).

Procijenjen je i slučajni učinak kombinacije lokalitet_godina (*loc_year*) kako bi se u obzir uzela potencijalna prostorno-vremenska heterogenost podataka povezana s razlikama među lokalitetima.

3.6 Dopunska analiza istraživanih lokaliteta u širem prostornom kontekstu na temelju sastava vrsta šišmiša

Kako bi se procijenilo u kojoj mjeri rezultati dobiveni na istraživanim lokalitetima odražavaju širi prostorni kontekst te postoje li razlike u sastavu vrsta šišmiša između lokaliteta koje bi mogle utjecati na prostornu specifičnost modela, provedena je dopunska analiza sastava vrsta šišmiša. Analiza je obuhvatila lokalitete iz različitih biogeografskih regija te dodatne lokalitete unutar mediteranske regije za koje nisu bili dostupni mikroklimatski podaci potrebni za razvoj modela, pri čemu je cilj bio obuhvatiti širi raspon okolišnih uvjeta nego u glavnoj analizi.

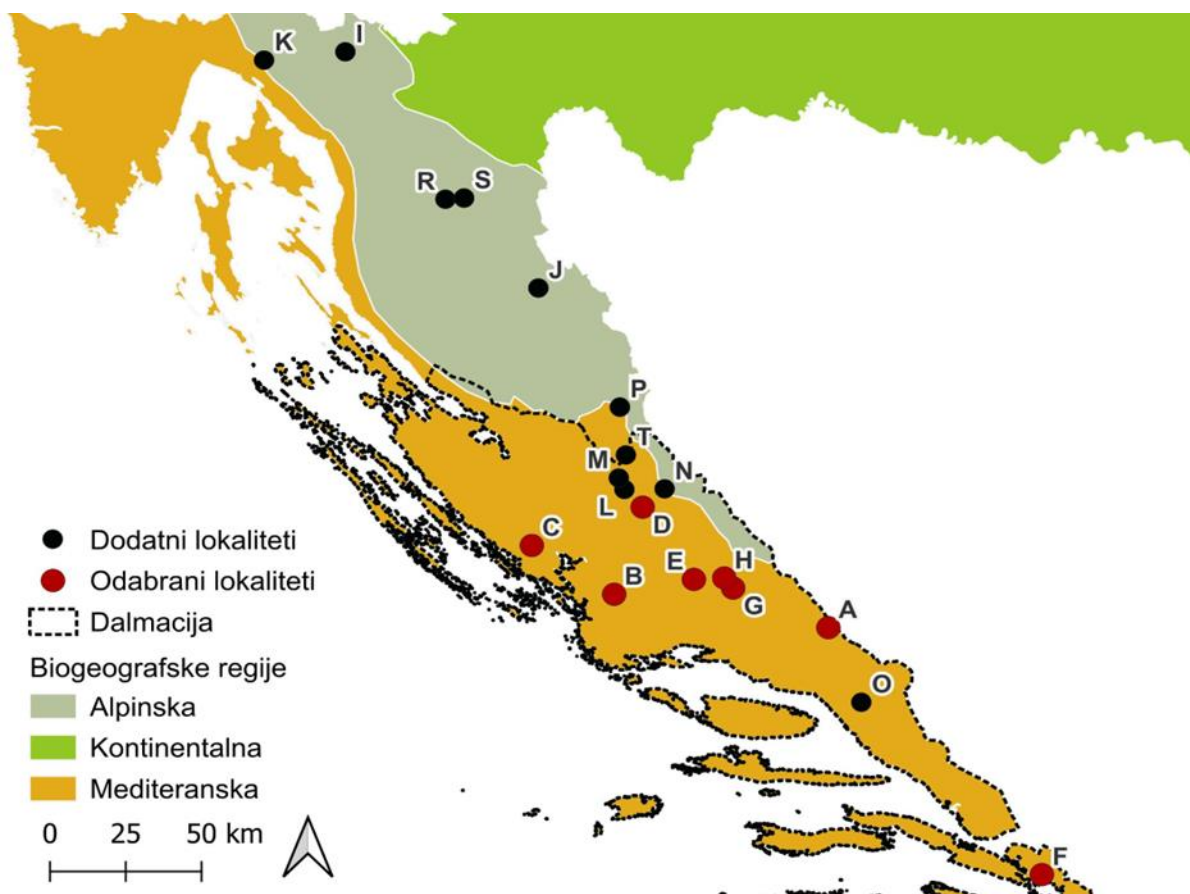
Uz osam lokaliteta na području Dalmacije (A – H), odabranih za razvoj modela u ovoj disertaciji (Tablica 1), u analizu su uključeni podaci kontinuiranog praćenja aktivnosti šišmiša s dodatnih 11 lokaliteta (I – T; vidi Sliku 11 i Tablicu 3). Od toga se četiri lokaliteta nalaze u mediteranskoj biogeografskoj regiji (L, M, O i T), četiri u alpinskoj (I, J, R i S), a tri u prijelaznoj zoni između tih dviju regija (K, N i P). Za lokalitete E, G, P i S uključeni su i rezultati praćenja aktivnosti šišmiša s dvije različite visine mikrofona (a, b). Podaci su prikupljeni od 2014. do 2024. godine, u okviru izrade stručnih podloga za potrebe procjena utjecaja vjetroelektrana na okoliš te testiranja nacionalnog programa praćenja faune šišmiša (Geonatura d.o.o., interna baza podataka).

Točke snimanja smještene su unutar akustički rubnog ili otvorenog tipa staništa (Schnitzler i Kalko 2001) (Slika 4, Slika 11) na mjernim stupovima 10 – 60 m iznad tla ili na vrhovima stabala 10 m iznad tla. Svi lokaliteti udaljeni su najmanje 200 m od slatkovodnih površina, izuzev lokaliteta N koji se nalazi približno 80 m od povremene rječice, čime je obihvaćen i širi raspon udaljenosti od površinskih voda. Na udaljenosti do 1 km nisu utvrđena značajna podzemna ili nadzemna skloništa šišmiša (Rnjak i sur. 2023a).

Na svim lokalitetima provedeno je kontinuirano snimanje glasanja šišmiša ultrazvučnim detektorima uz obradu snimljenog materijala prema metodi opisanoj u poglavlju 3.3. Kao osnovna jedinica aktivnosti korišten je broj 5-sekundnih intervala, unutar kojih je zabilježeno glasanje šišmiša, korigiran specifičnim koeficijentom detektabilnosti prema Barataud (2015) za svaku vrstu / fonetsku skupinu (NK).

U svrhu analize sastava faune šišmiša primijenjeno je **ne-metričko višedimenzionalno skaliranje (NMDS)**, uz vektorsku prilagodbu varijabli vrsta (envfit, R paket vegan). Analiza je provedena na relativnim udjelima zabilježene aktivnosti pojedinih vrsta i fonetskih skupina šišmiša, čime je omogućeno utvrđivanje vrsta koje najviše doprinose razdvajanju lokaliteta u ordinacijskom prostoru.

Kako bi se procijenilo u kojoj mjeri tehnički uvjeti snimanja, odnosno visine mikrofona, utječu na ordinacijske obrasce, provedena je dodatna NMDS analiza primjenom istog postupka, pri čemu su izostavljeni rodovi *Myotis*, *Rhinolophus*, *Plecotus* i *Barbastella*. Navedeni rodovi uglavnom lete bliže tlu i vegetaciji (Roemer i sur. 2017) te se zbog slabije detektabilnosti ultrazvučnim detektorima najčešće bilježe na visinama do približno 15 m (Barataud 2015).

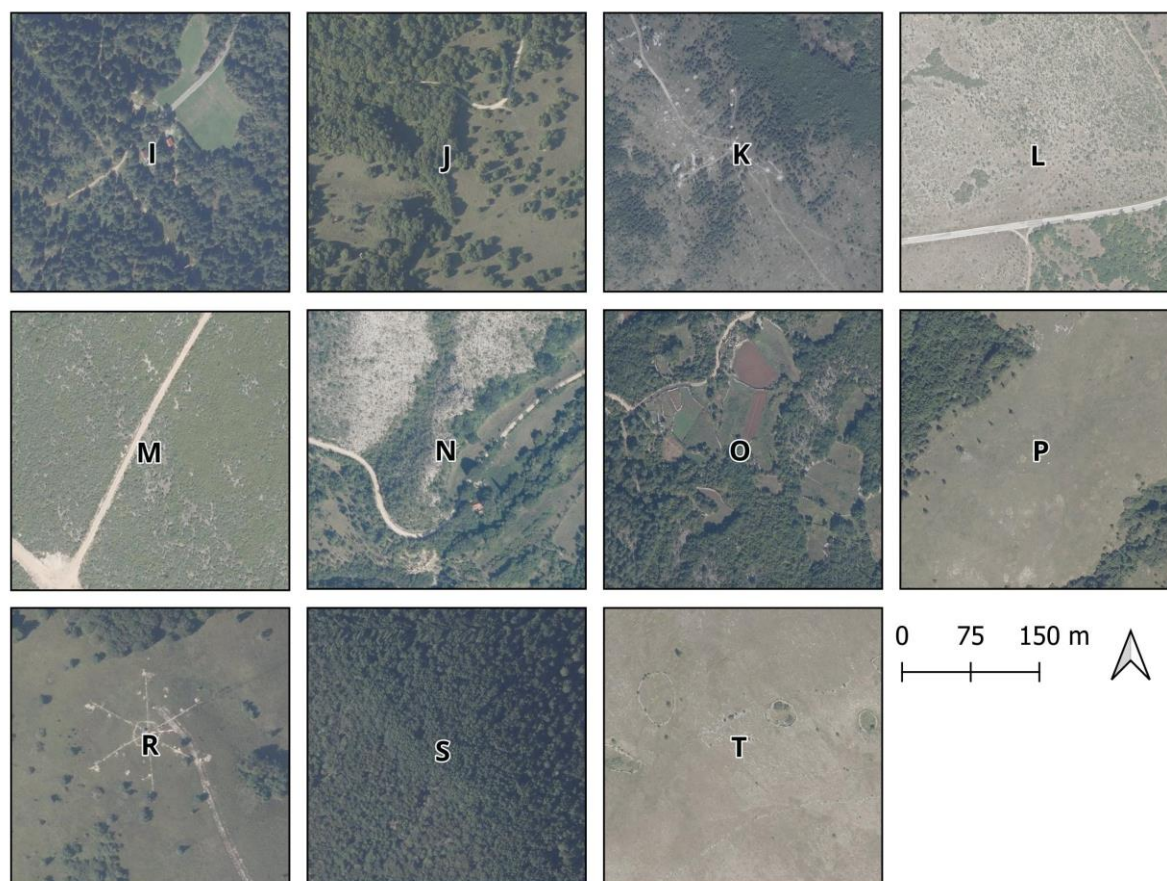


Slika 10 Kartografski prikaz osam lokaliteta s područja Dalmacije odabranih za potrebe istraživanja mikroklimе (A – H) te 11 dodatnih lokaliteta (I – T) korištenih za potrebe dopunske analize istraživanih lokaliteta u širem prostornom kontekstu (Bioportal, MZOZT 2025).

Tablica 3 Popis dodatnih visina mikrofona (a, b) i lokaliteta (I – T) korištenih za potrebe dopunske analize istraživanih lokaliteta u širem prostornom kontekstu. Biogeografska (biog.) regija: M – mediteranska, A – alpinska, MA – prijelazna zona između mediteranske i alpinske regije. FTV – fizionomski tip vegetacije prema Škunca i sur. (2013) na udaljenosti do 150 m od točke snimanja: t – travnjačka vegetacija, g – grmolika vegetacija, š – šumska vegetacija, p – poljoprivredne površine. Ukupni broj noći snimanja (zadnji stupac) po lokalitetu se razlikuje zbog razlika u datumu početka/kraja snimanja i eventualnim kraćim razdobljima tehničkih kvarova prilikom snimanja.

Šifra lokaliteta	Općina	Visina mikrofona (m)	Tip lokaliteta	Nadmorska visina (m)	Biog. regija	FTV 150 m	Razdoblje snimanja	Broj noći snimanja
E (b)	Muč	20	mjerni stup	540	M	t	tra – pro 2024	170
G (b)	Sinj	10	mjerni stup	810	M	g, t	svi – stu 2021	195
I	Skrad	10	vrh stabla	835	A	š, t	lip – lis 2022	47
J	Udbina	10	vrh stabla	811	A	š, t	lip – lis 2022	48
K	Bakar	60	mjerni stup	634	MA	g, t	ožu – stu 2018	185
L	Knin	40	mjerni stup	308	M	t	ožu – stu 2021 ožu – lis 2022	484

Šifra lokaliteta	Općina	Visina mikrofona (m)	Tip lokaliteta	Nadmorska visina (m)	Biog. regija	FTV 150 m	Razdoblje snimanja	Broj noći snimanja
M	Ervenik	40	mjerni stup	342	M	g	ožu – stu 2021 ožu – lis 2022	484
N	Knin	10	vrh stabla	332	MA	g, t	lip – lis 2022	48
O	Zagvozd	10	vrh stabla	508	M	š, t, p	lip – lis 2022	47
P (a, b)	Gračac	45, 10	mjerni stup	815	MA	g, t	ožu – stu 2022	217, 224
R	Otočac	55	mjerni stup	1068	A	t	svi – stu 2019	206
S (a, b)	Saborsko	60, 20	mjerni stup	1063	A	š	tra – lis 2024	205, 205
T	Gračac	10	mjerni stup	646	M	t	svi – lis 2024	166



Slika 11 Digitalni ortofoto u mjerilu 1:5000 (2019/20 godina) 11 dodatnih lokaliteta (I – T) za potrebe dopunske analize istraživanih lokaliteta u širem prostornom kontekstu (DGU 2023).

4 REZULTATI

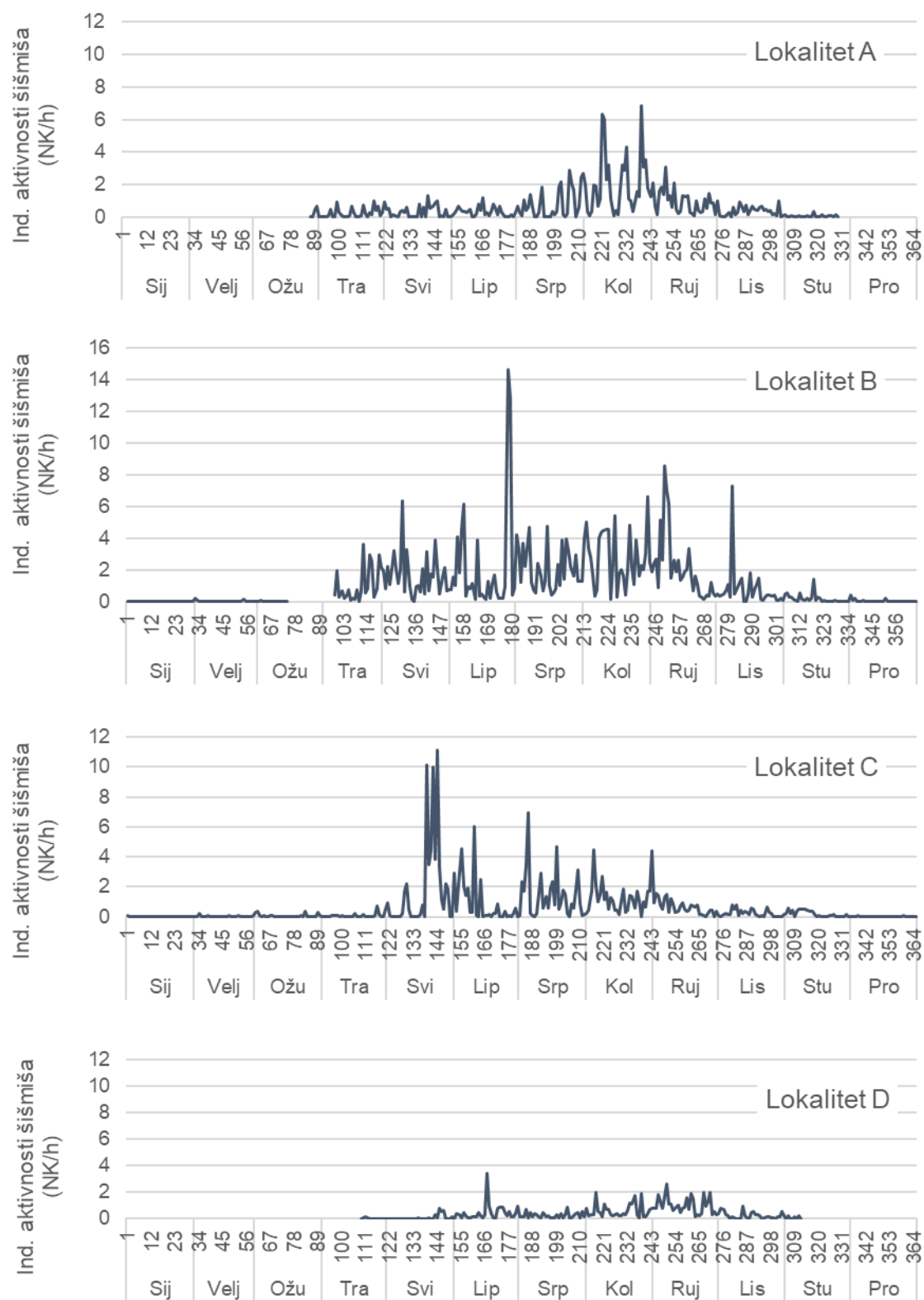
4.1 Aktivnost šišmiša

4.1.1 Sezonska dinamika

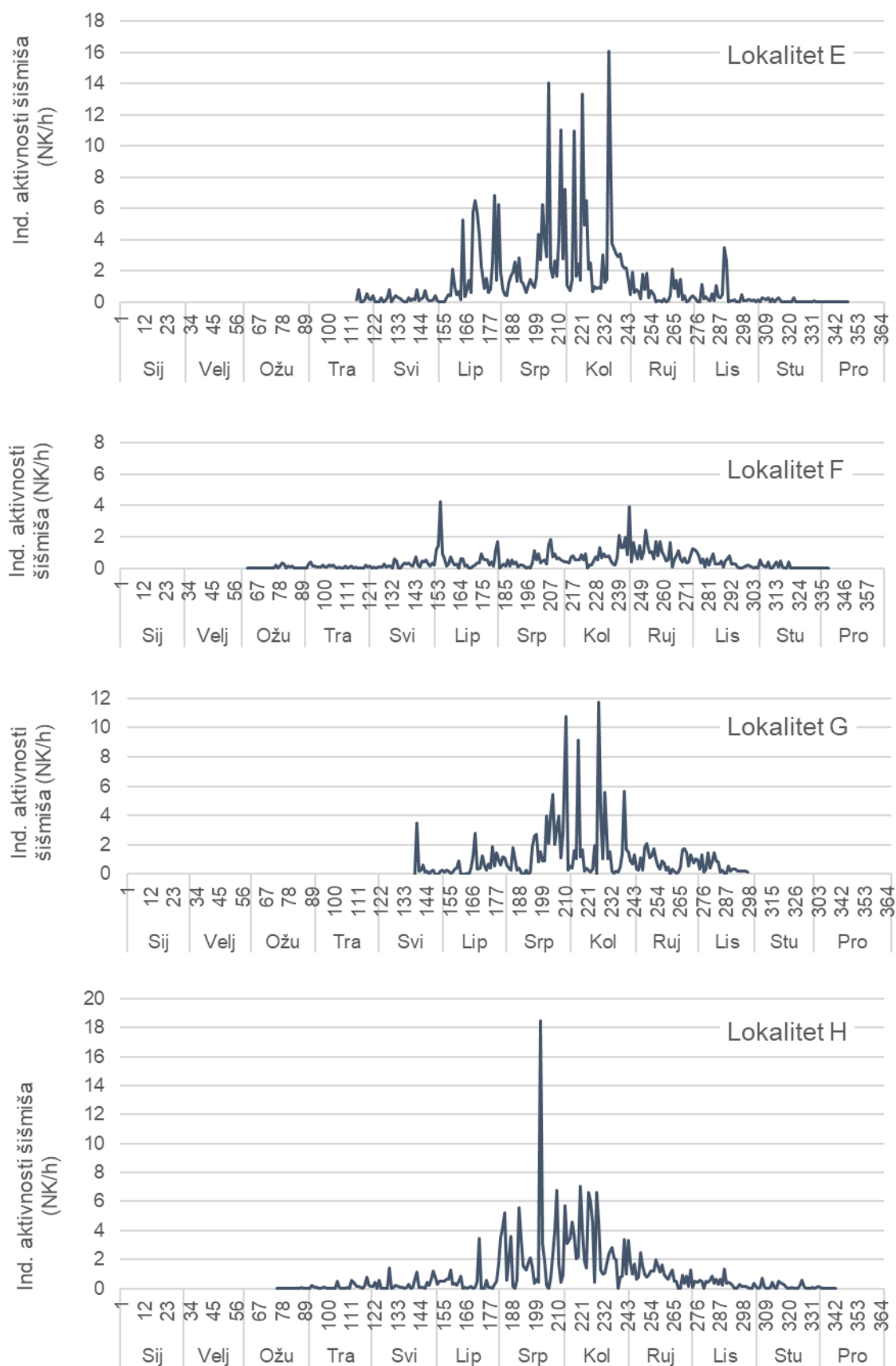
Mjesečni indeks aktivnosti pokazuje izraženu sezonalnost na svim lokalitetima, s maksimumom tijekom ljetnih mjeseci (lipanj – rujan), uz vidljive razlike u intenzitetu aktivnosti među lokalitetima (Tablica 4). Na svim lokalitetima zabilježena je vrlo niska aktivnost ili izostanak aktivnosti tijekom zimskih mjeseci (prosinac – veljača) te navedeno razdoblje nije uključeno u izradu modela. Tijekom proljeća zabilježen je postupni porast indeksa aktivnosti (ožujak – svibanj), koji se u ljetnim mjesecima (lipanj – kolovoz) razvija u izraženu i često vrlo varijabilnu aktivnost. Vizualno najizraženije amplitude zabilježene su na lokalitetima B, E, G i H, dok su na lokalitetima A, C, D i F amplitude niže i u pravilu rjeđe. U jesenskom razdoblju (rujan – listopad) varijabilnost i intenzitet aktivnosti se na svim lokalitetima postupno smanjuje (Slika 12, Slika 13). Iako je sezonska dinamika aktivnosti u osnovi slična među lokalitetima, razlike u intenzitetu, varijabilnosti i trajanju aktivne sezone upućuju na moguće lokalne specifičnosti.

Tablica 4 Mjesečni indeks aktivnosti šišmiša (NK/h) po lokalitetima (A – H), mjerni stupovi, 25 – 60 m, Dalmacija. Vrijednosti 0,00 označavaju mjeseci u kojima je praćenje provedeno, ali aktivnost šišmiša nije zabilježena, a prazna polja označavaju mjeseci bez provedenog praćenja na pojedinom lokalitetu (osjenčanost polja proporcionalna je vrijednosti indeksa aktivnosti, pri čemu svjetlija polja označavaju niže, a tamnija polja više vrijednosti).

Indeks aktivnosti (NK/h)								
Mjesec	A	B	C	D	E	F	G	H
Sij		0,00	0,00					
Velj		0,02	0,02					
Ožu	0,26	0,02	0,06			0,05		0,01
Tra	0,25	1,14	0,08	0,02	0,30	0,10		0,13
Svi	0,36	1,80	1,98	0,08	0,24	0,23	0,45	0,30
Lip	0,36	2,35	1,04	0,48	2,25	0,63	0,69	0,51
Srp	0,85	2,25	1,53	0,26	3,09	0,49	1,94	2,71
Kol	2,20	2,97	1,36	0,64	3,46	0,84	1,97	3,12
Ruj	0,99	2,24	0,64	1,06	0,65	0,98	0,87	1,06
Lis	0,41	0,80	0,24	0,24	0,44	0,34	0,49	0,36
Stu	0,06	0,19	0,20	0,07	0,08	0,12		0,13
Pro		0,04	0,01		0,00	0,00		0,02



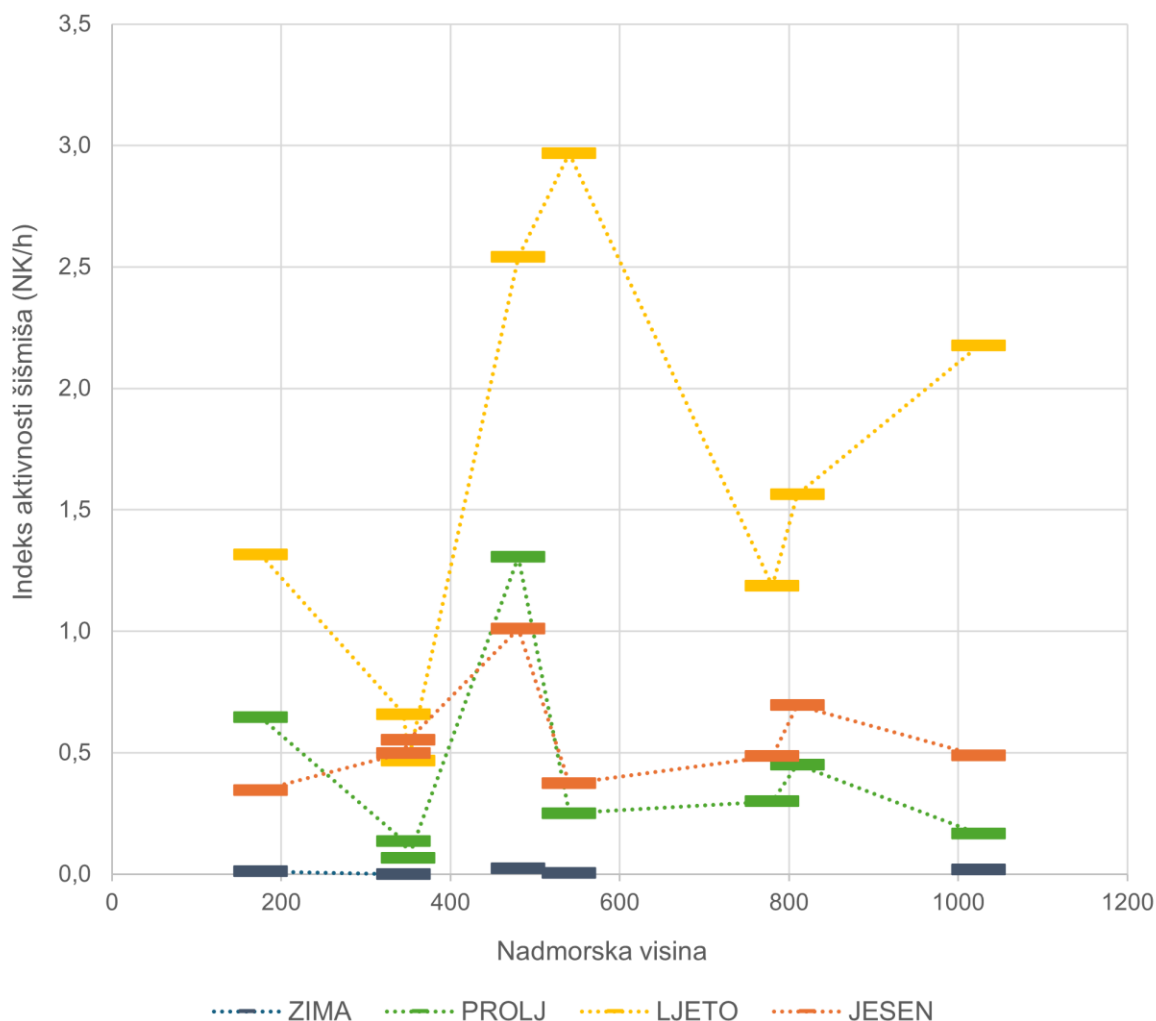
Slika 12 Agregirana sezonska dinamika indeksa aktivnosti šišmiša (NK/noć) na istraživanim lokalitetima (A – D) po julijanskom danu u godini.



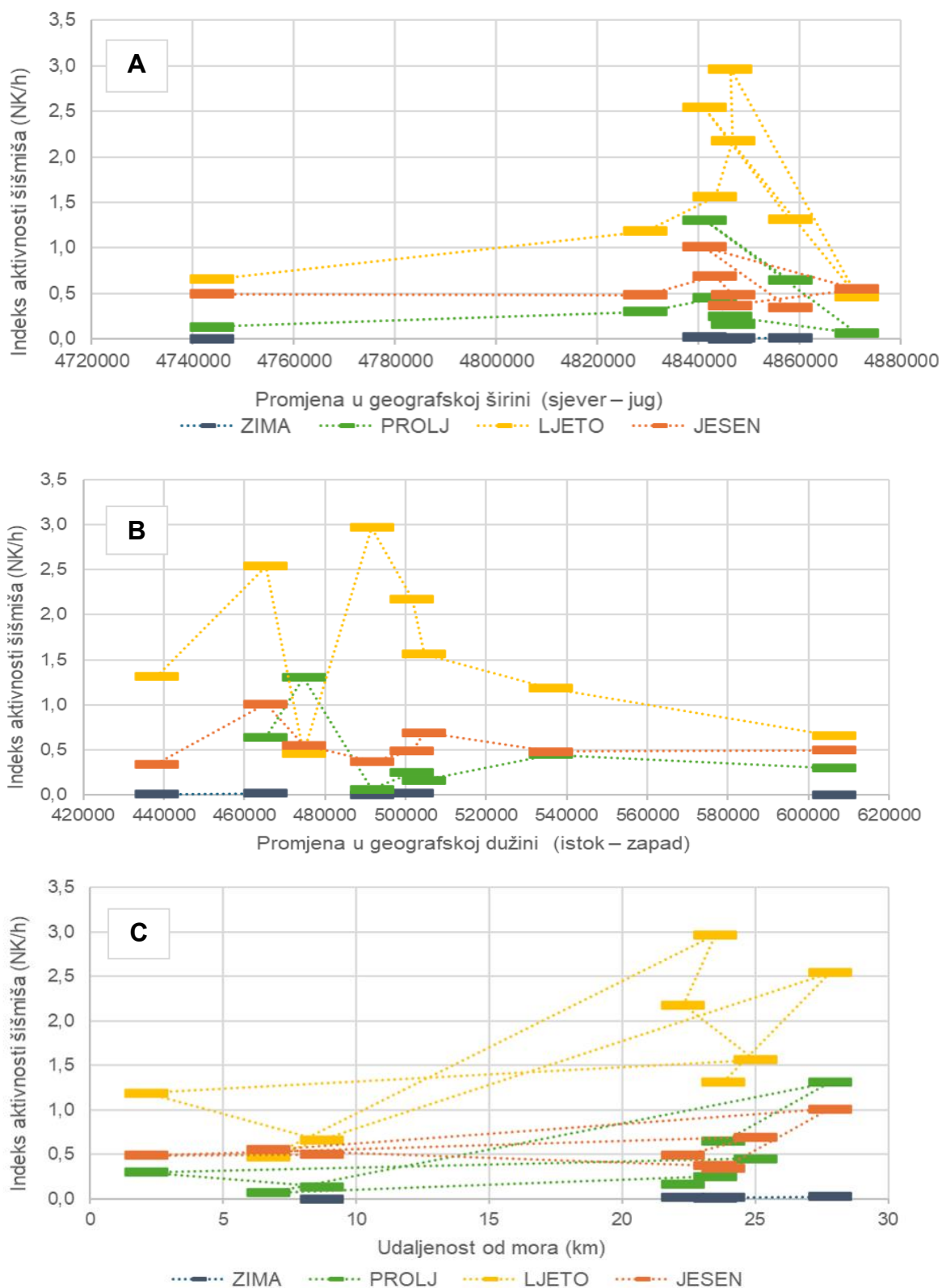
Slika 13 Agregirana sezonska dinamika indeksa aktivnosti šišmiša (NK/noć) na istraživanim lokalitetima (E – H) po julijanskom danu u godini.

4.1.2 Nadmorska visina i prostorni položaj lokaliteta

Deskriptivni prikaz indeksa aktivnosti po lokalitetima ne upućuje na sustavno nižu aktivnost na višim u odnosu na niže nadmorske visine niti sugerira da nadmorska visina sama po sebi uvjetuje intenzitet aktivnosti (Slika 14). Jednako tako nisu uočeni niti jasni obrasci u razlikama aktivnosti s obzorom na promjenu geografske širine (sjever – jug), geografske dužine (istok – zapad) ili udaljenost od mora (Slika 15).



Slika 14 Indeks aktivnosti šišmiša (NK/h) u odnosu na nadmorsku visinu lokaliteta, razdvojeno po sezonama (zima: prosinac – veljača; proljeće: ožujak – svibanj; ljeto: lipanj – kolovoz; jesen: rujan – studeni), mjerni stupovi, 25 – 60 m iznad tla, Dalmacija. Točke predstavljaju vrijednosti indeksa aktivnosti po pojedinim lokalitetima, dok su linije dodane isključivo radi lakše vizualne interpretacije i ne predstavljaju kontinuirani trend, budući da mjerenja nisu provedena istovremeno niti tijekom istih godina.



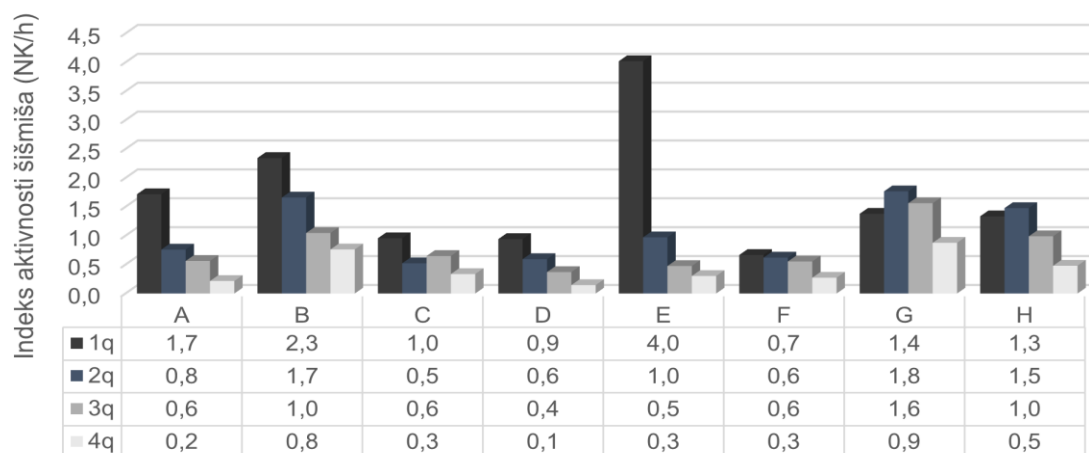
Slika 15 Indeks aktivnosti šišmiša (NK/h) u odnosu na A – geografsku širinu; B – geografsku dužinu; C – udaljenost od mora (km), razdvojeno po sezonama (zima: prosinac – veljača; proljeće: ožujak – svibanj; ljeto: lipanj – kolovoz; jesen: rujan – studeni), mjerni stupovi, 25 – 60 m iznad tla, Dalmacija. Točke predstavljaju vrijednosti indeksa aktivnosti po pojedinim lokalitetima, dok su linije dodane isključivo radi lakše vizualne interpretacije i ne predstavljaju kontinuirani trend, budući da mjerenja nisu provedena istovremeno niti tijekom istih godina.

4.1.3 Noćna dinamika

Indeks aktivnosti šišmiša (NK/h) uspoređen je između četiri kvartila, odnosno četiri jednaka dijela trajanja noći (od zalaska i do izlaska Sunca), za svaku noć na svakom lokalitetu. Rezultati Wilcoxonovog testa ukazuju na statistički značajne razlike u aktivnosti između prvog i kasnijih dijelova noći u svim sezonama i na razini ukupnog uzorka (Tablica 5). U kombinaciji s grafičkim prikazom indeksa aktivnosti šišmiša po lokalitetima, najveća aktivnost najčešće je bilježena u prvom kvartilu, uz pad aktivnosti tijekom ostatka noći. Iznimka su lokaliteti G i H gdje je nešto veći indeks aktivnosti zabilježen u drugom kvartilu (Slika 16).

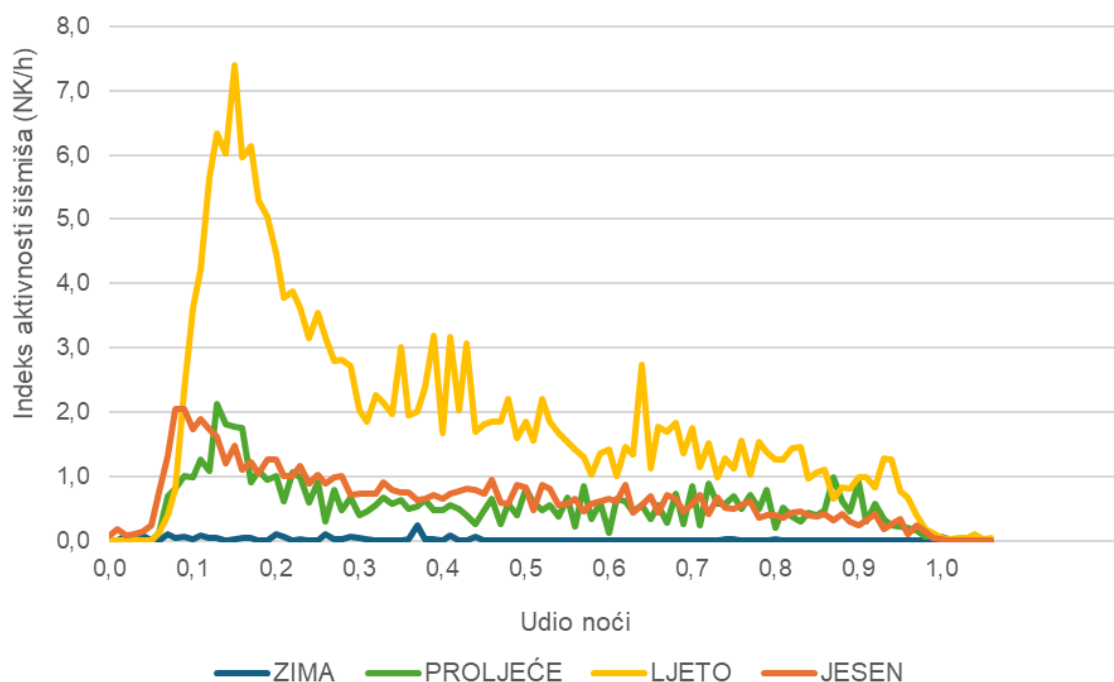
Tablica 5 Usporedba indeksa aktivnosti šišmiša (NK/h) između kvartila noći (1q – 4q) Wilcoxonovim testom uparenih uzoraka za svaki lokalitet-noć po sezonama (zima: prosinac–veljača; proljeće: ožujak – svibanj; ljeto: lipanj – kolovoz; jesen: rujan – studeni) te za sve sezone ukupno (n – broj parova opažanja po usporedbi, pri čemu su u analizu uključeni samo parovi u kojima je barem jedna vrijednost veća od nule; Z – standardizirana testna statistika; p – razina statističke značajnosti (podebljano < 0,05)).

Sezona	1q i 2q (n; Z; p)	1q i 3q (n; Z; p)	1q i 4q (n; Z; p)	2q i 3q (n; Z; p)	2q i 4q (n; Z; p)	3q i 4q (n; Z; p)
Zima	46; 3,00; 0,0027	42; 4,93; < 0,001	41; 5,11; < 0,001	21; 2,83; 0,0046	20; 3,23; 0,0012	7; 1,52; 0,1282
Proljeće	346; 4,95; < 0,001	342; 7,01; < 0,001	328; 9,78; < 0,001	304; 2,9; 0,0037	291; 6,34; < 0,001	261; 4,38; < 0,001
Ljeto	801; 6,55; < 0,001	799; 11,21; < 0,001	784; 16,07; < 0,001	770; 8,18; < 0,001	746; 14,05; < 0,001	703; 9,12; < 0,001
Jesen	658; 8,22; < 0,001	655; 10,57; < 0,001	631; 17,72; < 0,001	580; 5,17; < 0,001	555; 15,31; < 0,001	490; 13,00; < 0,001
Sve sezone	1851; 10,94; < 0,001	1838; 16,84; < 0,001	1784; 25,49; < 0,001	1675; 10,07; < 0,001	1612; 21,21; < 0,001	1461; 15,48; < 0,001



Slika 16 Indeks aktivnosti šišmiša (NK/h) po kvartilima noći (1q – 4q) na pojedinim lokalitetima (A – H), mjerni stupovi, 25 – 60 m iznad tla, Dalmacija.

Deskriptivni prikaz indeksa aktivnosti pokazuje izraženu varijabilnost aktivnosti tijekom noći, s najvišim vrijednostima u ranom dijelu noći (Slika 17). Navedeni obrazac prisutan je u svim sezonama, pri čemu je osobito izražen u ljetnom razdoblju, kada su razlike između prvog i posljednjeg dijela noći najizraženije, dok je u zimskom razdoblju najslabije izražen te ograničen smanjenim brojem noći sa zabilježenom aktivnosti.



Slika 17 Indeks aktivnosti šišmiša (NK/h) tijekom noći po sezonama, izražen kao udio noći od zalaska (0) do izlaska Sunca (1), mjerni stupovi, 25 – 60 m iznad tla, Dalmacija.

Aktivnost zabilježena prije zalaska i nakon izlaska Sunca činila je zanemariv udio ukupne aktivnosti, odnosno manje od 0,16 % 5 s snimki (N) s registriranom aktivnošću te manje od 0,19 % pri korištenju vrijednosti korigiranih koeficijentom detektabilnosti (NK).

4.1.4 Relativna mjesečina

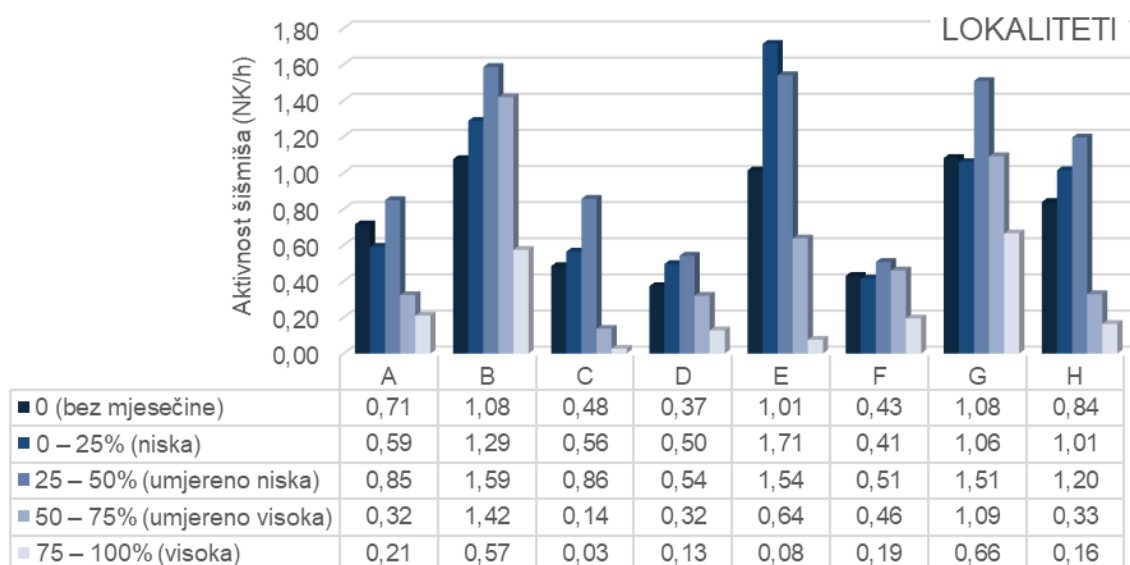
Raspodjela 10-minutnih intervala po klasama relativne mjesečine pokazuje da je najveći dio snimanja proveden bez mjesečine ili pri niskim razinama mjesečine, dok su intervali s visokom relativnom mjesečinom rijetki, odnosno uvjeti visoke relativne mjesečine bili su slabo zastupljeni u uzorku (Tablica 6).

Tablica 6 Broj 10-minutnih intervala praćenja i intervala sa zabilježenom aktivnosti šišmiša te ukupni broj 5 s snimki aktivnosti šišmiša korigiran koeficijentom detektabilnosti vrsta (NK) prema klasama relativne mjesečine.

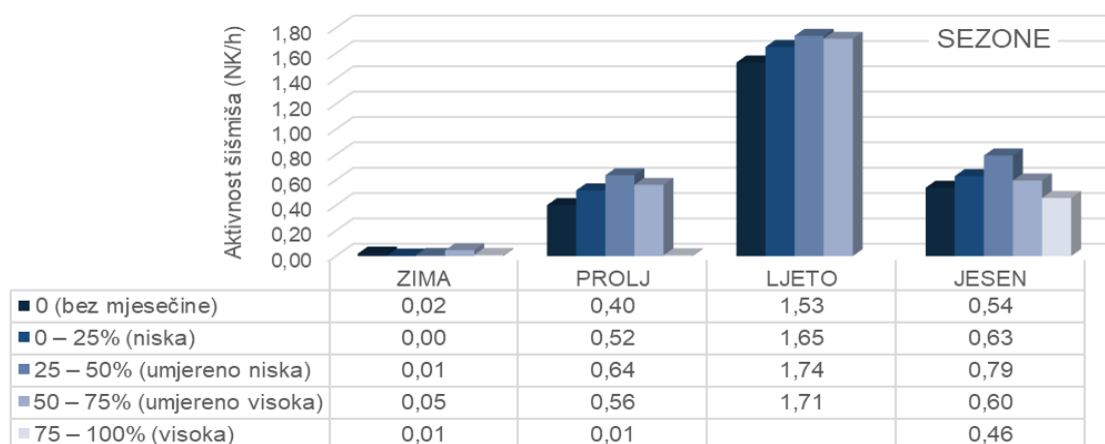
Izračunata relativna mjesečina (%)	Broj 10-min intervala praćenja	Broj 10-min intervala praćenja s aktivnošću šišmiša	NK
0 (bez mjesečine)	109268 (52,7 %)	9768 (51,0 %)	13692,7 (45,6 %)
0 – 25 (niska)	44569 (21,5 %)	4249 (22,2 %)	6618,2 (23,5 %)
25 – 50 (umjereno niska)	33472 (16,2 %)	3590 (18,7 %)	5906,5 (21,0 %)
50 – 75 (umjereno visoka)	16594 (8,0 %)	1433 (7,5 %)	1819,7 (6,5 %)
75 – 100 (visoka)	3291 (1,6 %)	125 (0,7 %)	149,2 (0,5 %)

Deskriptivni prikaz po lokalitetima pokazuje da se raspodjela aktivnosti prema klasama relativne mjesečine razlikuje među lokalitetima. Unatoč razlikama u apsolutnim vrijednostima aktivnosti, na većini lokaliteta uočava se slična raspodjela aktivnosti među klasama relativne mjesečine (Slika 18).

Tijekom ljetnih noći Mjesec je često niže nad horizontom, zbog čega za ovo razdoblje nisu zabilježene vrijednosti u klasi visoke relativne mjesečine (75 – 100 %). U deskriptivnom prikazu proljeća, ljeta i jeseni najveći indeks aktivnosti zabilježen je u klasi umjereno niske relativne mjesečine (25 – 50 %). U zimskom razdoblju razlike su vrlo slabo izražene te ograničene smanjenim brojem noći sa zabilježenom aktivnosti (Slika 19).



Slika 18 Indeks aktivnosti šišmiša (NK/h) po intenzitetu relativne mjesečine na pojedinim lokalitetima (A – H), mjerni stupovi, 25 – 60 m iznad tla, Dalmacija.



Slika 19 Indeks aktivnosti šišmiša (NK/h) po intenzitetu relativne mjesečine po sezonama (zima: prosinac – veljača; proljeće: ožujak – svibanj; ljeto: lipanj – kolovoz; jesen: rujan – studeni), mjerni stupovi, 25 – 60 m iznad tla, Dalmacija. Izostanak vrijednosti za visok intenzitet relativne mjesečine u ljetnom razdoblju posljedica je izostanka navedenog intenziteta relativne mjesečine tijekom ljeta.

Rezultati Kruskal–Wallisova testa ukazuju na statistički značajne razlike u aktivnosti šišmiša između kvartila relativne mjesečine u objedinjenoj analizi svih lokaliteta ($p < 0,001$), no razlike u prosječnim rangovima su male i bez dosljednog trenda (Tablica 7). Na razini pojedinih lokaliteta i sezona učinak relativne mjesečine bio je varijabilan, pri čemu su samo za neke lokalitete i tijekom ljeta uočene statistički značajne razlike.

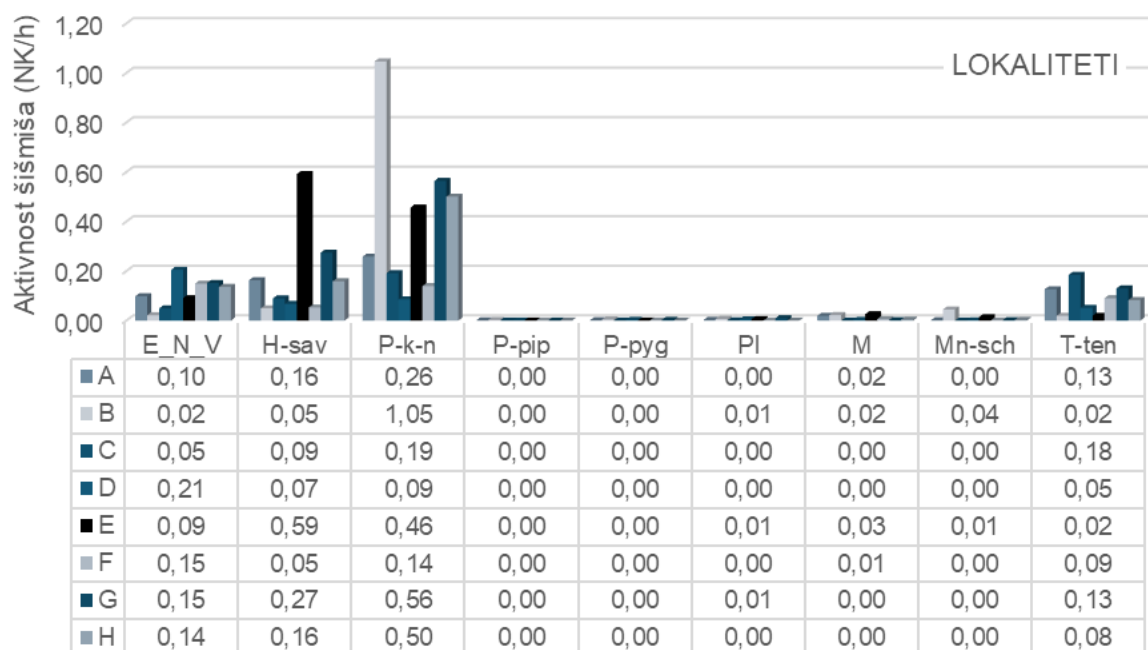
Tablica 7 Rezultati Kruskal–Wallisova testa i Dunnova post hoc testa za aktivnost šišmiša po kvartilima relativne mjesečine za pojedine lokalitete i sezone (n – broj 10-minutnih intervala uključenih u analizu; H – Kruskal–Wallisova test statistika; p – razina statističke značajnosti (podebljano $< 0,05$)); MR Q2 – Q4 – prosječni rang (eng. *mean rank*) vrijednosti indeksa aktivnosti (NK/10 min) unutar kvartila relativne mjesečine (Q2 – Q4) prema intenzitetu od najniže (označeno bijelom bojom) do najviše (označeno tamno sivom bojom); Dunn post hoc – statistički značajni parovi). Najniži kvartil relativne mjesečine (Q1), a ponekad i Q2, nije sadržavao opažanja zbog velikog udjela vrijednosti jednakih nuli (uvjeti bez relativne mjesečine). Analize za skupine „SVI LOK” i „SVE SEZ” provedene su na objedinjenom skupu svih 10-minutnih intervala, pri čemu su zadržane pripadnosti kvartilima određene zasebno za svaki lokalitet odnosno za svaku sezonu.

Grupa	n	H	p	MR Q2	MR Q3	MR Q4	Dunn post hoc
A	19022	2,18	0,337	9539,4	9507,1	9460	
B	50093	63,95	< 0,001		24898,2	25493,3	Q3 i Q4
C	30908	20,54	< 0,001		15511,6	15283,1	Q3 i Q4
D	15544	9,38	0,009	7718,5	7807,7	7845,3	Q2 i Q4
E	18919	0,10	0,748		9463,7	9448,9	
F	39302	18,24	< 0,001	19697,6	19459,1	19751,7	Q2 i Q3, Q3 i Q4
G	12023	7,55	0,006		5980,8	6105,7	
H	21383	1,74	0,419	10690,2	10651,3	10736,3	
SVI LOK	207194	28,33	< 0,001	103705,4	103291,5	104134,9	Q2 i Q3, Q2 i Q4, Q3 i Q4
ZIMA	23490	2,21	0,137		11741,2	11758,5	
PROLJ	44859	0,52	0,469		22419,6	22461,3	
LJETO	63889	33,64	< 0,001	31803,8	31784,5	32387,8	Q2 i Q4, Q3 i Q4
JESEN	74956	3,67	0,056		37433,2	37614,5	
SVE SEZ	207194	1120,35	< 0,001	108339,2	102107,8	104223,6	Q2 i Q3, Q2 i Q4, Q3 i Q4

4.1.5 Vrste i fonetske skupine

Najveći udio ukupne aktivnosti ostvarila je fonetska skupina *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii* (56,9 %), dok su značajan doprinos imale i vrste *Hypsugo savii* (17,4 %), skupina *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* (11,8 %) te *Tadarida teniotis* (10,1 %). Ostale vrste i skupine sudjelovale su s pojedinačnim udjelima manjim od 2 %, uključujući rod *Myotis* (1,4 %) i vrstu *Miniopterus schreibersii* (1,6 %), dok su *P. pipistrellus*, *P. pygmaeus* i rod *Plecotus* bili rijetko zabilježeni (< 0,5 %).

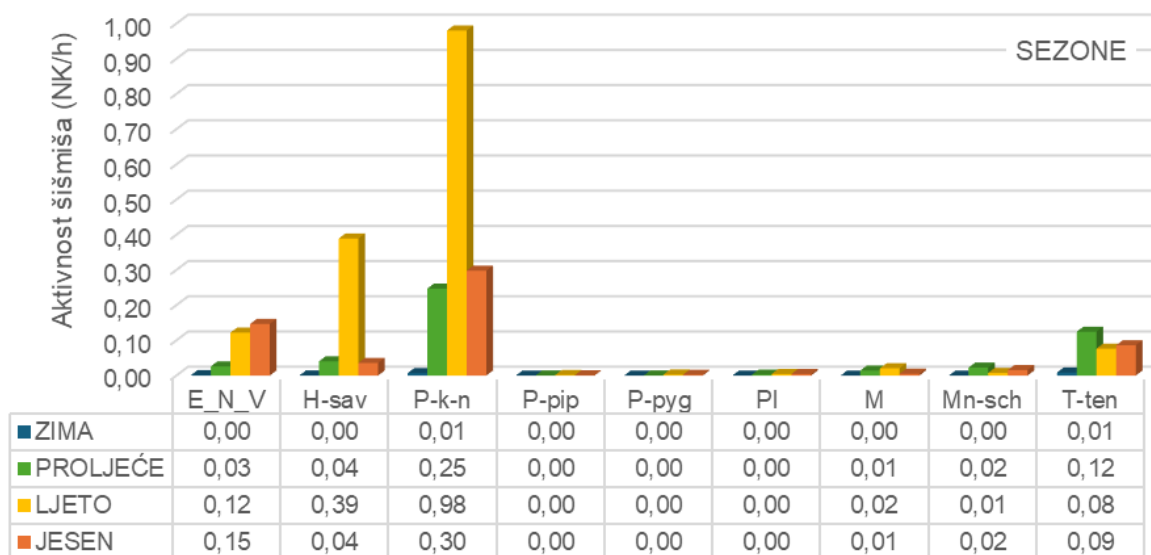
Usporedba indeksa aktivnosti ukazuje na izražene razlike u aktivnosti istih vrsta i fonetskih skupina na pojedinim lokalitetima (Slika 20). Na većini lokaliteta uočljivo dominantnu ulogu ima skupina *P. kuhlii* / *P. nathusii*. Iznimke su lokalitet E gdje je nešto veći indeks aktivnosti vrste *H. savii* te lokalitet C na kojem je nešto niži, ali vrlo sličan indeks aktivnosti zabilježen za vrstu *T. teniotis*. Pri tom je važno napomenuti da je 51,7 % zabilježene aktivnosti vrste *T. teniotis* na C lokalitetu zabilježeno unutar sedam uzastopnih dana u svibnju 2019.



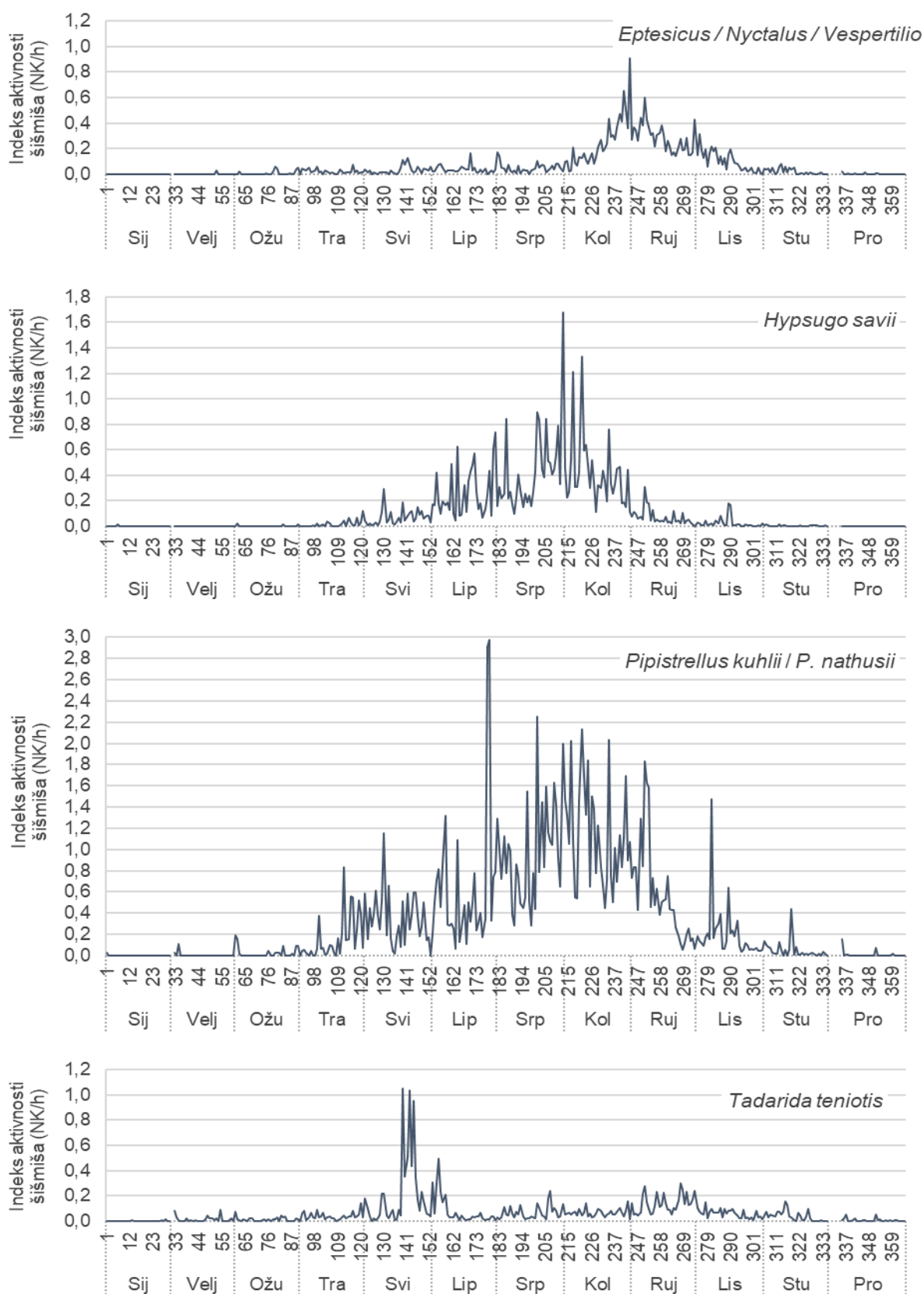
Slika 20 Indeks aktivnosti vrsta i fonetskih skupina šišmiša (NK/h) po istraživanim lokalitetima (A–H), mjerni stupovi, 25 – 60 m iznad tla, Dalmacija (E_N_V – *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*, H-sav – *Hypsugo savii*, P-k-n – *Pipistrellus kuhlii* / *nathusii*, P-pip – *P. pipistrellus*, P-pyg – *P. pygmaeus*, PI – *Plecotus*, M – *Myotis*, Mn-sch – *Miniopterus schreibersii*).

Sezonska dinamika aktivnosti razlikovala se među vrstama i fonetskim skupinama, kako u intenzitetu, tako i u vremenskoj raspodjeli aktivnosti tijekom godine. Unatoč razlikama u sezonskoj dinamici i prostornoj raspodjeli, sve analizirane vrste i fonetske skupine pokazivale su vrlo nisku ili izostalu aktivnost tijekom zimskog razdoblja (prosinac – veljača) (Slika 20, Slika 21). Manje zastupljene vrste i skupine, uključujući vrste *Mi. schreibersii*, *P. pipistrellus*, *P. pygmaeus* i rodove *Myotis*, *Plecotus* činile su vrlo mali udio ukupne aktivnosti te su pokazivale niske vrijednosti indeksa aktivnosti tijekom cijele godine, bez jasno izraženih sezonskih maksimuma (Slika 21).

Skupina *P. kuhlii* / *P. nathusii* pokazivala je izražen maksimum aktivnosti tijekom ljetnih mjeseci, osobito u srpnju i kolovozu, te naglim padom aktivnosti u jesenskom razdoblju. Sličan sezonski obrazac, ali uz niže vrijednosti indeksa aktivnosti, zabilježen je i za vrstu *H. savii*, kod koje je ljetni maksimum bio izražen, ali vremenski kraći i varijabilniji. Fonetska skupina rodova *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* pokazivala je nižu aktivnost, s maksimumom krajem kolovoza i početkom rujna. Vrsta *T. teniotis* pokazivala je specifičan obrazac sezonske dinamike, s najnižim ukupnim vrijednostima indeksa aktivnosti, ali s izraženijom aktivnošću u već spomenutom proljetnom razdoblju na lokalitetu C (Slika 22).



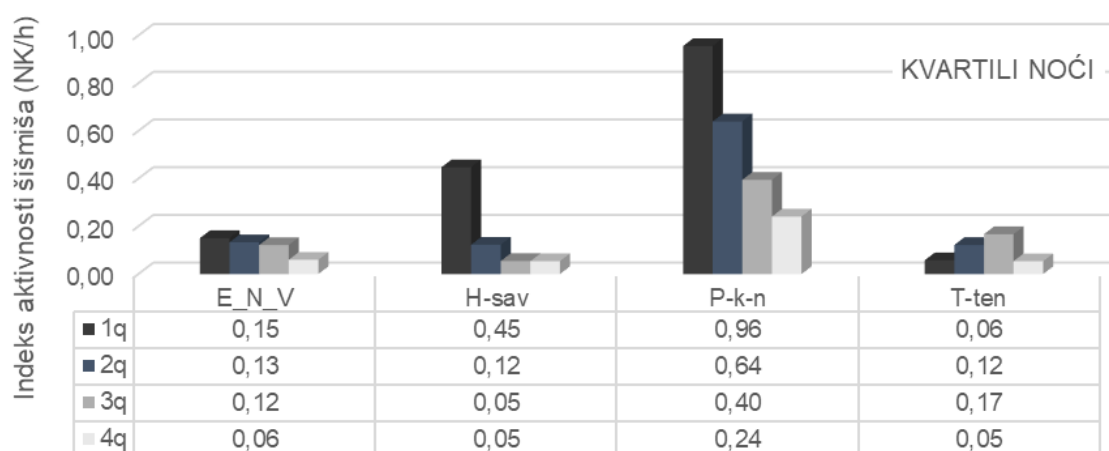
Slika 21 Indeks aktivnosti vrsta i fonetskih skupina šišmiša (NK/h) po sezonama (zima: prosinac – siječanj; proljeće: ožujak – svibanj; ljeto: lipanj – kolovoz; jesen: rujna - studeni), mjerni stupovi, 25 – 60 m iznad tla, Dalmacija (E_N_V – *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*, H-sav – *Hypsugo savii*, P-k-n – *Pipistrellus kuhlii* / *nathusii*, P-pip – *P. pipistrellus*, P-pyg – *P. pygmaeus*, PI – *Plecotus*, M – *Myotis*, Mn-sch – *Miniopterus schreibersii*).



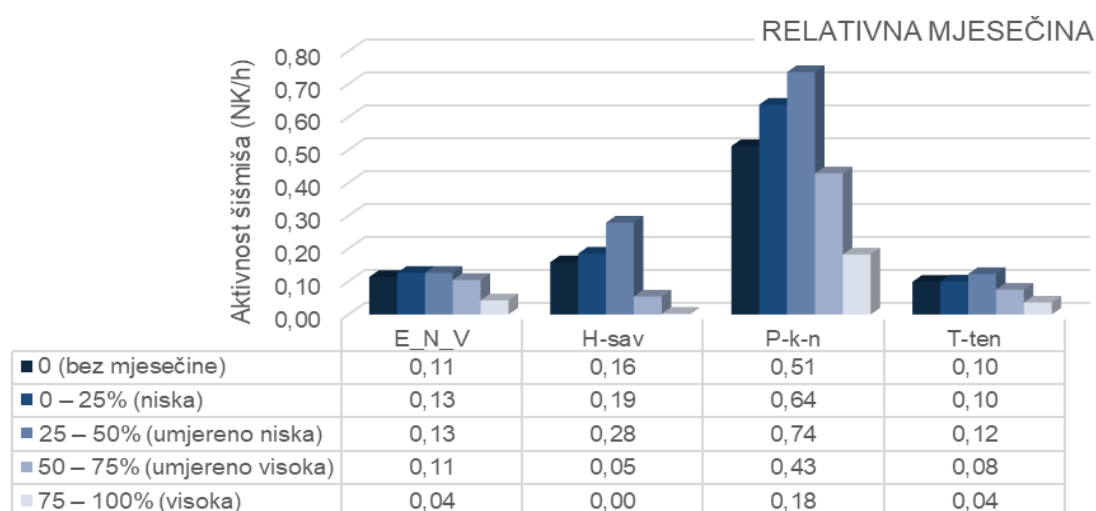
Slika 22 Indeks aktivnosti vrsta i fonetskih skupina šišmiša (NK/h) po julijanskom danu u godini, mjerni stupovi, 25 – 60 m iznad tla, Dalmacija.

Aktivnost dominantnih vrsta i fonetskih skupina bila je najveća u prvom kvartilu noći (1q), nakon čega je u većini slučajeva zabilježen postupni pad aktivnosti prema kasnijim kvartilima (Slika 23). Takva dinamika bila je osobito izražena kod skupine *P. kuhlii* / *P. nathusii* te kod vrste *H. savii*. Vrsta *T. teniotis* pokazivala je niže vrijednosti indeksa aktivnosti bez izraženog maksimuma, ali s nešto većim intenzitetom aktivnosti u središnjem dijelu noći, tj. drugom i trećem kvartilu.

Na grafu indeksa aktivnosti šišmiša u odnosu na intenzitet relativne mjesečine uočava se sličan obrazac za vrste i skupine, a najizraženije za skupinu *P. kuhlii* / *P. nathusii* i vrstu *H. savii* (Slika 24).



Slika 23 Indeks aktivnosti dominantnih vrsta i fonetskih skupina (NK/h) po kvartilima noći (1q – 4q), mjerni stupovi, 25 – 60 m iznad tla, Dalmacija (E_N_V – *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*, H-sav – *Hypsugo savii*, P-k-n – *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii*, T-ten – *Tadarida teniotis*)



Slika 24 Indeks aktivnosti dominantnih vrsta i fonetskih skupina (NK/h) po klasama relativne mjesečine, mjerni stupovi, 25 – 60 m iznad tla, Dalmacija (E_N_V – *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*, P-k-n – *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii*, H-sav – *Hypsugo savii*, T-ten – *Tadarida teniotis*).

4.2 Aktivnost šišmiša u odnosu na pojedinačne mikroklimatske varijable

Nakon opisa sezonskih, prostorno uvjetovanih i noćnih obrazaca aktivnosti šišmiša prikazanih u prethodnom poglavlju, u ovom poglavlju prikazani su deskriptivni prikazi i rezultati statističkih usporedbi aktivnosti šišmiša s obzirom na pojedinačne mikroklimatske varijable, dok su rezultati multivarijatnih modela prikazani u poglavlju 4.4.

Odnos između aktivnosti šišmiša i mikroklimatskih uvjeta analiziran je na vremenskoj skali 10-minutnih intervala, a deskriptivna statistika mjerenja prikazana je u Prilogu 2a, 2b i 2c. Tablični i grafički prikazi izrađeni su prema unaprijed definiranim klasama mikroklimatskih varijabli radi preglednog prikaza raspodjele podataka i veličine uzorka u pojedinim klasama. Za statističke usporedbe korišteni su kvartili vrijednosti pojedine mikroklimatske varijable kako bi se osigurala usporediva veličina uzoraka među skupinama. Granične vrijednosti kvartila za pojedine mikroklimatske varijable prikazane su Prilogu 2b (po lokalitetima) i Prilogu 2c (po sezonama).

4.2.1 Intenzitet oborine

Oborine su tijekom razdoblja praćenja bile relativno rijetka pojava, pri čemu je većina noći bila bez zabilježenih oborina. Aktivnost šišmiša tijekom oborina zabilježena je u svega 0,05 % analiziranih 10-minutnih vremenskih intervala. Najveći udio aktivnosti tijekom oborina zabilježen je pri vrlo slabim oborinama ($< 0,5$ mm/h), dok pri jačim oborinama aktivnost gotovo u potpunosti izostaje (Tablica 8).

S obzirom na izrazito mali broj opažanja tijekom oborina, rezultati vezani uz ovu varijablu interpretiraju se s oprezom. Niska zastupljenost aktivnosti tijekom oborina upućuje na snažan negativan odnos između oborine i aktivnosti šišmiša, no zbog ograničenog uzorka, oborina nije uključena u daljnje multivarijatne analize.

Tablica 8 Raspodjela 10-minutnih intervala s aktivnošću šišmiša po klasama intenziteta oborine i razinama indeksa aktivnosti (NK/10 min).

Intenzitet oborine (mm/h)	Broj 10-minutnih intervala				
	$0,0 < NK \leq 1,0$	$1,1 < NK \leq 2,0$	$2,1 < NK \leq 5,0$	$5,1 < NK \leq 10,0$	$10,0 < NK$
0,0	2689	678	385	122	78
0,0 – 0,5	1	1			
0,5 – 1,0	4			1	
$> 1,0$	11	4			

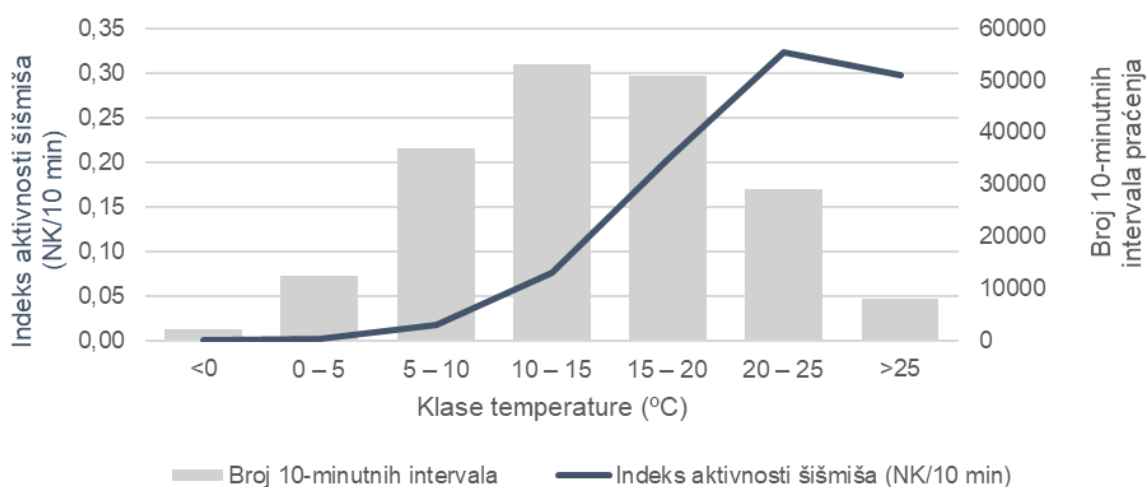
4.2.2 Temperatura zraka

Prema raspodjeli 10-minutnih intervala s zabilježenom aktivnošću šišmiša po klasama temperature zraka i razinama intenziteta aktivnosti (Tablica 9), u nižim temperaturnim klasama aktivnost je rijetka i uglavnom ograničena na najniže razine intenziteta. S porastom temperature povećavaju se učestalost i intenzitet aktivnosti, s najvećim udjelom viših razina aktivnosti u temperaturnom rasponu od 15 do 25 °C.

Tablica 9 Raspodjela 10-minutnih intervala s aktivnošću šišmiša po klasama temperature zraka i razinama indeksa aktivnosti (NK/10 min).

Temperatura zraka (°C)	Broj 10-minutnih intervala				
	0,0 < NK ≤ 1,0	1,1 < NK ≤ 2,0	2,1 < NK ≤ 5,0	5,1 < NK ≤ 10,0	10,0 < NK
0 – 5	55		2		
5 – 10	967	68	23	6	
10 – 15	3243	515	270	65	9
15 – 20	4767	1286	756	199	81
20 – 25	2822	1041	674	186	95
> 25	645	224	167	56	37

Deskriptivni prikaz pokazuje porast indeksa aktivnosti šišmiša s porastom temperature, pri čemu su najniže vrijednosti zabilježene u temperaturnim klasama ispod 5 °C, dok se najviše vrijednosti indeksa aktivnosti bilježe u rasponu od 20 do 25 °C. U najvišoj temperaturnoj klasi (> 25 °C) uočava se blagi pad indeksa aktivnosti, pri čemu je ta temperaturna klasa bila zastupljena manjim brojem 10-minutnih intervala praćenja (Slika 25).



Slika 25 Indeks aktivnosti šišmiša i raspodjela uzorka (ukupnog broja 10-minutnih intervala praćenja) po klasama temperature zraka (°C)

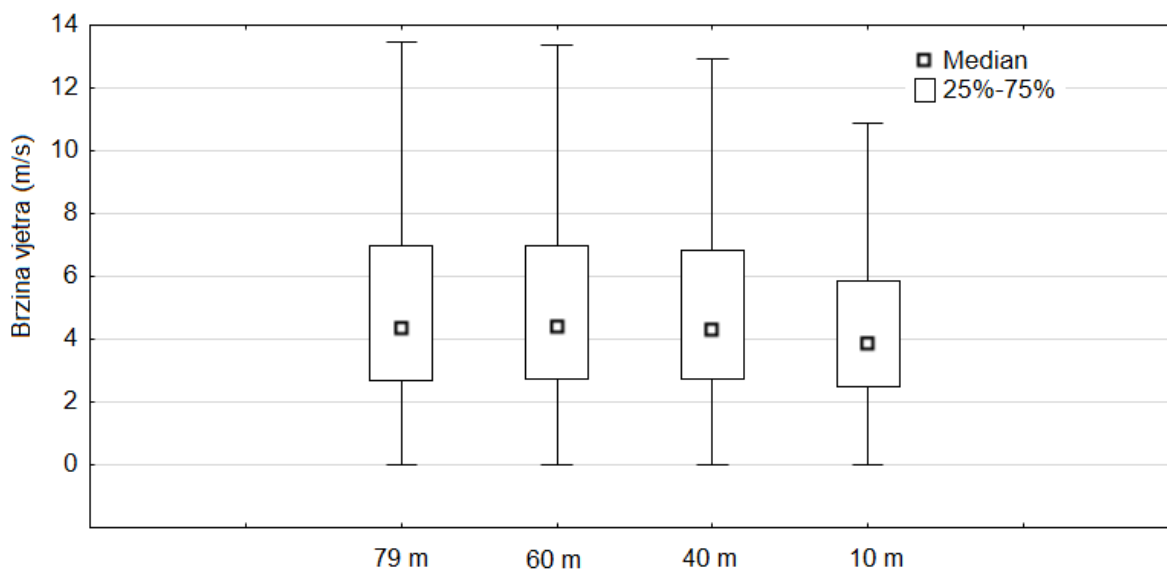
Kruskal–Wallisovim testom, uz Dunnovu post hoc analizu detaljno prikazanu u Prilogu 3 (Tablica 10), na svim analiziranim lokalitetima, kao i u objedinjenoj analizi svih lokaliteta, utvrđene su statistički značajne razlike ($p < 0,001$) u aktivnosti između kvartila temperature (granične vrijednosti kvartila prikazane su u Prilogu 2b i 2c). Prosječni rangovi indeksa aktivnosti u pravilu rastu od najnižeg prema najvišem temperaturnom kvartilu (MR Q1 → MR Q4), što upućuje na pozitivan odnos između temperature zraka i aktivnosti šišmiša. U većini slučajeva potvrđene su razlike između svih parova kvartila (6/6 značajnih parova), dok je na pojedinim lokalitetima i u ljetnoj sezoni taj obrazac nešto slabije izražen. Sezonske analize dodatno potvrđuju važnost temperature kao mikroklimatskog čimbenika. Pozitivan učinak temperature uočen je u svim sezonama, uključujući zimu, iako je tijekom zimskog razdoblja raspon vrijednosti aktivnosti znatno uži.

Tablica 10 Rezultati Kruskal–Wallisova testa i Dunnova post hoc testa za aktivnost šišmiša po kvartilima temperature zraka (Tm) za pojedine lokalitete i sezone (N – broj 10-minutnih intervala uključenih u analizu; H – Kruskal–Wallisova test statistika; p – razina statističke značajnosti (podebljano < 0,05)); MR Q1 – Q4 – prosječni rang vrijednosti indeksa aktivnosti (NK/10 min) unutar svakog kvartila (Q1 – Q4) mikroklimatske varijable prema intenzitetu od najniže (označeno bijelom bojom) do najviše (označeno tamno sivom bojom); Dunn post hoc – broj i udio značajnih od ukupno 6 mogućih parova). Analize za skupine „SVI LOK” i „SVE SEZ” provedene su na objedinjenom skupu svih 10-minutnih intervala, pri čemu su zadržane pripadnosti kvartilima određene zasebno za svaki lokalitet odnosno za svaku sezonu.

Var	Grupa	n	H	p	MR Q1	MR Q2	MR Q3	MR Q4	Dunn post hoc
Tm	A	19022	362,1	< 0,001	8919,2	9405,3	9634,4	10086,2	6; 100 %
Tm	B	50022	3401,5	< 0,001	22897,9	23746,2	25791,2	27754,2	6; 100 %
Tm	C	25641	1351,4	< 0,001	14476,9	14620,5	15741,4	16494,7	6; 100 %
Tm	D	14361	215,4	< 0,001	7433,0	7694,3	8192,1	7983,8	6; 100 %
Tm	E	16032	1197,9	< 0,001	8739,3	9130,1	9466,3	10817,9	6; 100 %
Tm	F	33957	523,5	< 0,001	18700,6	19652,8	20357,5	20341,4	5; 83,3 %
Tm	G	12023	39,1	< 0,001	5989,3	5831,2	6058,0	6169,2	4; 66,7 %
Tm	H	21356	1218,0	< 0,001	9744,9	10209,7	10955,8	11844,6	6; 100 %
Tm	SVI LOK	192414	6621,3	< 0,001	96964,9	100343,8	106302,7	111704,3	6; 100 %
Tm	ZIMA	23167	47,5	< 0,001	11700,6	11741,2	11743,3	11799,4	5; 83,3 %
Tm	PROLJ	39513	559,6	< 0,001	21593,9	22257,7	22750,1	23338,0	6; 100 %
Tm	LJETO	56179	261,9	< 0,001	30834,6	32663,9	32679,7	32522,3	3; 50 %
Tm	JESEN	73555	1888,2	< 0,001	35080,6	36716,4	38428,7	39918,7	6; 100 %
Tm	SVE SEZ	192414	2014,9	< 0,001	99121,8	103215,8	105510,9	107485,2	6; 100 %

4.2.3 Brzina vjetra

Aktivnost šišmiša praćena je što je moguće bliže toćkama mjerenja vjetra na mjernim stupovima, ali nije bilo moguće uvijek na jednakoj visini, s obzirom na tehnića i sigurnosna ogranićenja. Tako je na lokalitetu B aktivnost šišmiša praćena 25 m iznad tla, a brzina vjetra mjerena 40 m iznad tla, dok je na lokalitetu E aktivnost praćena na 45 m, a brzina vjetra mjerena na 20 m (visine svih mjerenja prikazane su u Prilogu 2b). Budući da brzina vjetra pokazuje najveću vertikalnu varijabilnost, provedena je deskriptivna usporedba mjerenja brzine vjetra na različitim visinama pomoću Box-whisker dijagrama (Slika 26). Prikazani podaci temelje se na istovremenim 10-minutnim mjerenjima provedenima na istom mjernom stupu. Zbog velikog uzorka, preciznosti mjerenja i uparene prirode mjerenja na razini 10-minutnih intervala, formalni testovi znaćajnosti nisu primijenjeni, jer bi i male, praktićno zanemarive razlike rezultirale statistićki znaćajnim ishodima. Box-whisker dijagram pokazuje snažno preklapanje raspodjela brzina vjetra izmeću visina, uz blagi trend smanjenja medijana i ukupne varijabilnosti prema nižim visinama.



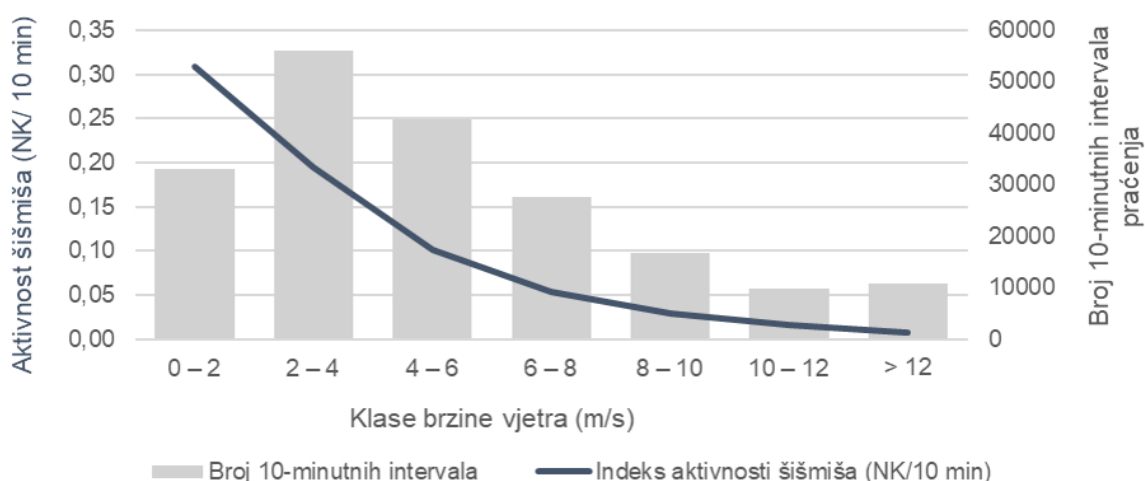
Slika 26 Box-whisker dijagram raspodjele prosjećnih vrijednosti brzine vjetra izmjerenih u 10-minutnim intervalima na različitim visinama istog mjernog stupa.

Prema raspodjeli 10-minutnih intervala s aktivnošću šišmiša po klasama brzine vjetra i razinama indeksa aktivnosti (Tablica 11), najveći broj intervala s višim indeksom zabilježen je pri nižim brzinama vjetra, osobito u rasponu do 4 m/s. S porastom brzine vjetra postupno se smanjuju i učestalost i intenzitet aktivnosti, pri čemu su pri brzinama većim od 8 m/s zabilježeni tek sporadični intervali s aktivnošću, uglavnom ograničeni na najniže razine indeksa aktivnosti.

Tablica 11 Raspodjela 10-minutnih intervala s aktivnošću šišmiša po klasama brzine vjetra i razinama indeksa aktivnosti (NK/10 min).

Brzina vjetra (m/s)	Broj 10-minutnih intervala				
	$0,0 < NK \leq 1,0$	$1,1 < NK \leq 2,0$	$2,1 < NK \leq 5,0$	$5,1 < NK \leq 10,0$	$10,0 < NK$
0 – 2	3508	909	668	240	131
2 – 4	4999	1413	854	214	73
4 – 6	2597	610	294	53	25
6 – 8	1079	213	91	17	5
8 – 10	415	59	26	2	
10 – 12	148	15	10		
> 12	67	8	5		

Slika 27 prikazuje indeks aktivnosti šišmiša i raspodjelu uzorka po klasama brzine vjetra. Najveći broj 10-minutnih intervala praćenja zabilježen je pri nižim i umjerenim brzinama vjetra (0 – 6 m/s), dok su veće brzine vjetra bile rjeđe zastupljene. Deskriptivni prikaz pokazuje izražen pad aktivnosti šišmiša s porastom brzine vjetra. Pri brzinama vjetra iznad približno 8 m/s aktivnost je vrlo niska ili gotovo izostaje, iako su u tim klasama i dalje bilježeni 10-minutni intervali praćenja.



Slika 27 Indeks aktivnosti šišmiša i raspodjela uzorka (ukupnog broja 10-minutnih intervala praćenja) po klasama brzine vjetra (m/s)

Kruskal–Wallisovim testom, uz Dunnovu post hoc analizu detaljno prikazanu u Prilogu 3 (Tablica 12), na svim analiziranim lokalitetima, kao i u objedinjenoj analizi svih lokaliteta, utvrđene su statistički značajne razlike ($p < 0,001$) u aktivnosti između kvartila brzine vjetra (granične vrijednosti kvartila prikazane su u Prilogu 2b i 2c). Prosječni rangovi indeksa aktivnosti u pravilu padaju od najnižeg prema najvišem kvartilu brzine vjetra ($Q1 \rightarrow Q4$), što upućuje na negativan odnos između brzine vjetra i aktivnosti šišmiša. U većini slučajeva razlike između kvartila potvrđene su za sve parove, dok je na pojedinim lokalitetima i tijekom zimskog razdoblja broj značajnih parova nešto manji, što je u skladu s nižom razinom aktivnosti bilježenom u tim uvjetima. Sezonske analize pokazuju izraženije razlike između kvartila brzine vjetra u proljetnom, ljetnom i jesenskom razdoblju.

Tablica 12 Rezultati Kruskal–Wallisova testa i Dunnova post hoc testa za aktivnost šišmiša po kvartilima brzine vjetra (WS) za pojedine lokalitete (A – H) i sezone (n – broj 10-minutnih intervala uključenih u analizu; H – Kruskal–Wallisova test statistika; p – razina statističke značajnosti (podebljano $< 0,05$)); MR Q1–Q4 – prosječni rang vrijednosti indeksa aktivnosti (NK/10 min) unutar svakog kvartila (Q1 – Q4) mikroklimatske varijable prema intenzitetu od najniže (označeno bijelom bojom) do najviše (označeno tamno sivom bojom); Dunn post hoc – broj i udio značajnih od ukupno 6 mogućih parova). Analize za skupine „SVI LOK” i „SVE SEZ” provedene su na objedinjenom skupu svih 10-minutnih intervala, pri čemu su zadržane pripadnosti kvartilima određene zasebno za svaki lokalitet odnosno za svaku sezonu.

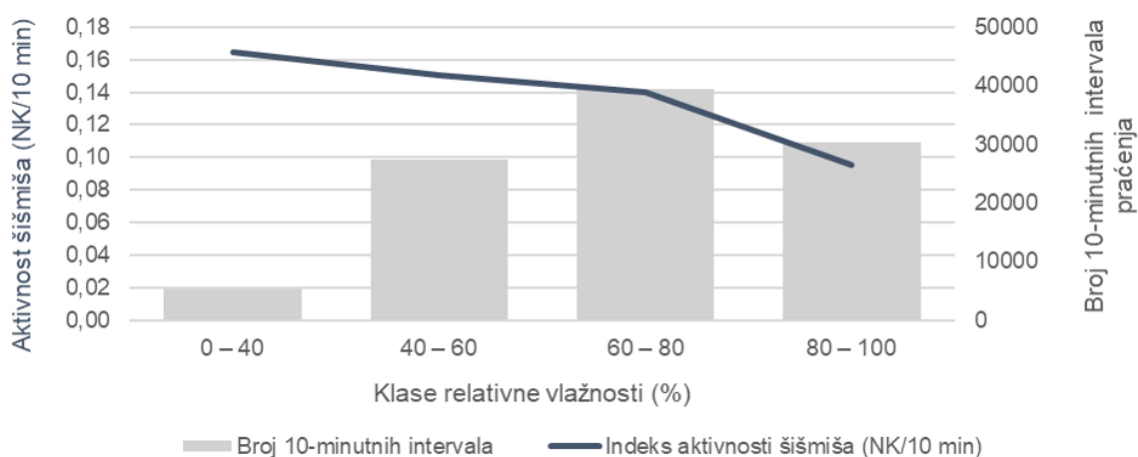
Var	Grupa	n	H	p	MR Q1	MR Q2	MR Q3	MR Q4	Dunn post hoc
WS	A	19022	994,8	$< 0,001$	10646,2	9521,9	9139,2	8775,7	6; 100 %
WS	B	48202	1775,3	$< 0,001$	27217,1	25503,8	24299,6	23463,7	6; 100 %
WS	C	30834	1336,6	$< 0,001$	16693,5	15552,2	15001,2	14558,2	6; 100 %
WS	D	15544	243,8	$< 0,001$	8070,8	7962,0	7718,7	7337,2	6; 100 %
WS	E	16032	126,0	$< 0,001$	9681,8	9518,7	9826,0	9140,2	6; 100 %
WS	F	33957	998,4	$< 0,001$	20912,5	20275,5	19447,9	18426,6	6; 100 %
WS	G	12023	349,1	$< 0,001$	6489,1	6181,3	5854,3	5501,5	6; 100 %
WS	H	21356	666,2	$< 0,001$	11243,3	11213,3	10533,3	9803,2	5; 83,3 %
WS	SVI LOK	196970	5635,0	$< 0,001$	111057,7	105732,6	101766,1	97004,6	6; 100 %
WS	ZIMA	23171	93,0	$< 0,001$	11828,4	11739,2	11714,7	11702,6	4; 66,7 %
WS	PROLJ	40559	1212,9	$< 0,001$	23763,2	22793,6	21919,6	21325,3	6; 100 %
WS	LJETO	61437	2008,7	$< 0,001$	34519,8	33336,0	31163,5	29208,1	6; 100 %
WS	JESEN	71803	1989,7	$< 0,001$	39937,7	38698,6	36926,1	34900,2	6; 100 %
WS	SVE SEZ	196970	4996,3	$< 0,001$	109992,1	106610,9	101763,4	97178,8	6; 100 %

4.2.4 Relativna vlažnost zraka

Prema raspodjeli 10-minutnih intervala s aktivnošću šišmiša po klasama relativne vlažnosti zraka i razinama indeksa aktivnosti (Tablica 13), aktivnost je zabilježena u svim klasama. Međutim, deskriptivni prikaz ne upućuje na izražen ni dosljedan odnos između relativne vlažnosti i aktivnosti šišmiša. Slika 28 prikazuje indeks aktivnosti šišmiša i raspodjelu uzorka po klasama relativne vlažnosti zraka. Najveći broj 10-minutnih intervala praćenja zabilježen je pri relativnoj vlažnosti između 60 i 80 %, dok su suhi uvjeti (0 – 40 %) bili rijetko zastupljeni. Deskriptivni prikaz pokazuje nešto više vrijednosti indeksa aktivnosti pri nižoj relativnoj vlažnosti, dok su najniže vrijednosti zabilježene pri relativnoj vlažnosti od 80 do 100 %.

Tablica 13 Raspodjela 10-minutnih intervala s aktivnošću šišmiša po klasama relativne vlažnosti zraka i razinama indeksa aktivnosti (NK/10 min).

Vlažnost zraka (%)	Broj 10-minutnih intervala				
	0,0 < NK ≤ 1,0	1,1 < NK ≤ 2,0	2,1 < NK ≤ 5,0	5,1 < NK ≤ 10,0	10,0 < NK
0 – 40	296	83	56	16	13
40 – 60	1579	469	260	70	60
60 – 80	2904	644	382	97	50
80 – 100	1955	390	201	70	12



Slika 28 Indeks aktivnosti šišmiša i raspodjela uzorka (ukupnog broja 10-minutnih intervala praćenja) po klasama relativne vlažnosti zraka (%)

Kruskal–Wallisovim testom, uz Dunnovu post hoc analizu detaljno prikazanu u Prilogu 3 (Tablica 14), za većinu analiziranih lokaliteta i sezona utvrđene su statistički značajne razlike ($p < 0,001$) u aktivnosti između kvartila relativne vlažnosti (granične vrijednosti kvartila prikazane su u Prilogu 2b i 2c), no za razliku od temperature i brzine vjetra, obrasci odgovora nisu bili jednoznačni ni konzistentni među lokalitetima i sezonama.

Na pojedinim lokalitetima zabilježen je pad prosječnih rangova indeksa aktivnosti s porastom relativne vlažnosti (npr. lokaliteti B i E), dok je na drugima uočen suprotan ili nelinearan obrazac, s porastom prosječnih rangova indeksa aktivnosti u višim kvartilima relativne vlažnosti (npr. lokaliteti C, F i G). U objedinjenoj analizi svih lokaliteta razlike između kvartila relativne vlažnosti bile su statistički značajne ($p < 0,001$), ali je Dunnov post hoc test potvrdio statistički značajne razlike za samo tri od šest mogućih parova kvartila.

Tijekom zimskog razdoblja nije utvrđena statistički značajna razlika u aktivnosti između kvartila relativne vlažnosti ($p = 0,1$), dok su u proljetnom, ljetnom i jesenskom razdoblju razlike bile statistički značajne, ali bez dosljednog obrasca promjene kroz kvartile. Ukupno gledano, odnos između relativne vlažnosti zraka i aktivnosti šišmiša prostorno je i sezonski varijabilan te manje dosljedan u odnosu na temperaturu zraka i brzinu vjetra.

Tablica 14 Rezultati Kruskal–Wallisova testa i Dunnova post hoc testa za aktivnost šišmiša po kvartilima relativne vlažnosti zraka (Hm) za pojedine lokalitete (A – H) i sezone (n – broj 10-minutnih intervala uključenih u analizu; H – Kruskal–Wallisova test statistika; p – razina statističke značajnosti (podebljano $< 0,05$)); MR Q1 – Q4 – prosječni rang vrijednosti indeksa aktivnosti (NK/10 min) unutar svakog kvartila (Q1 – Q4) mikroklimatske varijable prema intenzitetu od najniže (označeno bijelom bojom) do najviše (označeno tamno sivom bojom); Dunn post hoc – broj i udio značajnih od ukupno 6 mogućih parova). Analize za skupine „SVI LOK” i „SVE SEZ” provedene su na objedinjenom skupu svih 10-minutnih intervala, pri čemu su zadržane pripadnosti kvartilima određene zasebno za svaki lokalitet odnosno za svaku sezonu.

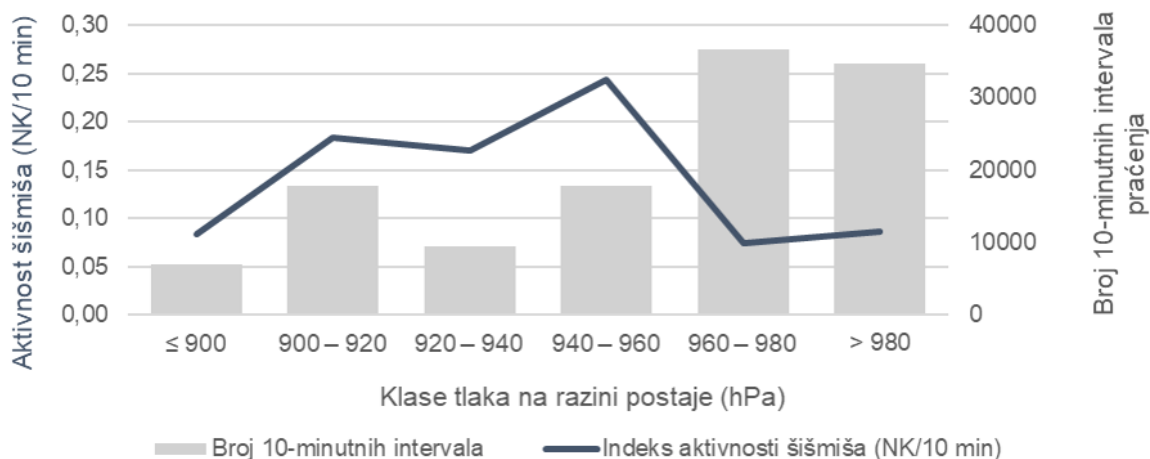
Var	Grupa	n	H	p	MR Q1	MR Q2	MR Q3	MR Q4	Dunn post hoc
Hm	A	-	-	-	-	-	-	-	-
Hm	B	9947	145,6	< 0,001	26098,7	25570,8	24837,0	23801,8	6; 100 %
Hm	C	25641	371,3	< 0,001	14694,8	15171,9	15692,1	15769,8	5; 83,3 %
Hm	D	-	-	-	-	-	-	-	-
Hm	E	16032	381,5	< 0,001	10111,5	9802,9	9265,2	8989,2	6; 100 %
Hm	F	17525	73,3	< 0,001	19338,1	19456,1	19899,7	20196,2	5; 83,3 %
Hm	G	12023	58,1	< 0,001	5942,2	5883,1	5955,3	6267,4	3; 50 %
Hm	H	21356	100,3	< 0,001	10651,8	10858,6	10924,6	10337,4	5; 83,3 %
Hm	SVI LOK	102524	20,5	< 0,001	103416,2	103934,1	104235,3	103150,6	3; 50 %
Hm	ZIMA	11750	5,6	0,1	11730,5	11738,5	11770,2	11730,5	0; 0 %
Hm	PROLJ	16515	133,4	< 0,001	21815,4	21935,2	22847,5	22713,4	4; 66,7 %
Hm	LJETO	27888	33,6	< 0,001	31998,8	32409,3	32966,3	32985,8	5; 83,3 %
Hm	JESEN	46371	63,0	< 0,001	36584,4	37369,6	37588,1	36895,9	5; 83,3 %
Hm	SVE SEZ	102524	127,5	< 0,001	102071,4	103576,3	105022,1	104055,5	5; 83,3 %

4.2.5 Atmosferski tlak

Prema raspodjeli 10-minutnih intervala s aktivnošću šišmiša po klasama atmosferskog tlaka na razini postaje (staničnog tlaka) i tlaka svedenog na razinu mora te razinama indeksa aktivnosti (Tablica 15).

Tablica 15 Raspodjela 10-minutnih intervala s aktivnošću šišmiša po klasama staničnog atmosferskog tlaka (na razini postaje) i tlaka svedenog na razinu mora te razinama indeksa aktivnosti (NK/10 min).

Tlak na razini postaje (hPa)	Broj 10-minutnih intervala				
	$0,0 < NK \leq 1,0$	$1,1 < NK \leq 2,0$	$2,1 < NK \leq 5,0$	$5,1 < NK \leq 10,0$	$10,0 < NK$
≤ 900	266	83	43	14	3
900 – 920	1735	378	243	53	32
920 – 940	944	206	101	26	15
940 – 960	1096	392	253	108	76
960 – 980	2426	394	180	19	3
> 980	1841	382	205	53	20
Tlak na razini mora (hPa)	$0,0 < NK \leq 1,0$	$1,1 < NK \leq 2,0$	$2,1 < NK \leq 5,0$	$5,1 < NK \leq 10,0$	$10,0 < NK$
990 – 1000	1				
1000 – 1010	568	126	71	26	8
1010 – 1020	7739	1709	954	247	141



Slika 29 Indeks aktivnosti šišmiša i raspodjela uzorka (ukupnog broja 10-minutnih intervala praćenja) po klasama staničnog atmosferskog tlaka (hPa).

Slika 29 prikazuje indeks aktivnosti šišmiša i raspodjelu uzorka po klasama staničnog atmosferskog tlaka, pri čemu deskriptivni prikaz ne upućuje na dosljedan odnos između aktivnosti šišmiša i atmosferskog tlaka. Aktivnost je zabilježena u širokom rasponu vrijednosti tlaka, a najveći intenzitet zabilježen je pri srednjim vrijednostima (940 – 960 hPa).

Kruskal–Wallisovim testom, uz Dunnovu post hoc analizu detaljno prikazanu u Prilogu 3, za većinu analiziranih lokaliteta i sezona utvrđene su statistički značajne razlike u aktivnosti između kvartila staničnog atmosferskog tlaka na razini postaje (Ba_s) i tlaka svedenog na razinu mora (Ba_0) (granične vrijednosti kvartila prikazane su u Prilogu 2b i 2c). Za razliku od temperature zraka i brzine vjetra, izostaje jasan i dosljedan smjer promjene prosječnih rangova indeksa aktivnosti duž gradijenta tlaka, neovisno o tome analizira li se stanični tlak ili tlak sveden na razinu mora (Tablica 16). Smjer promjene prosječnih rangova varira među lokalitetima i sezonama, pri čemu za stanični tlak rezultati testa u zimskom razdoblju nisu bili statistički značajni.

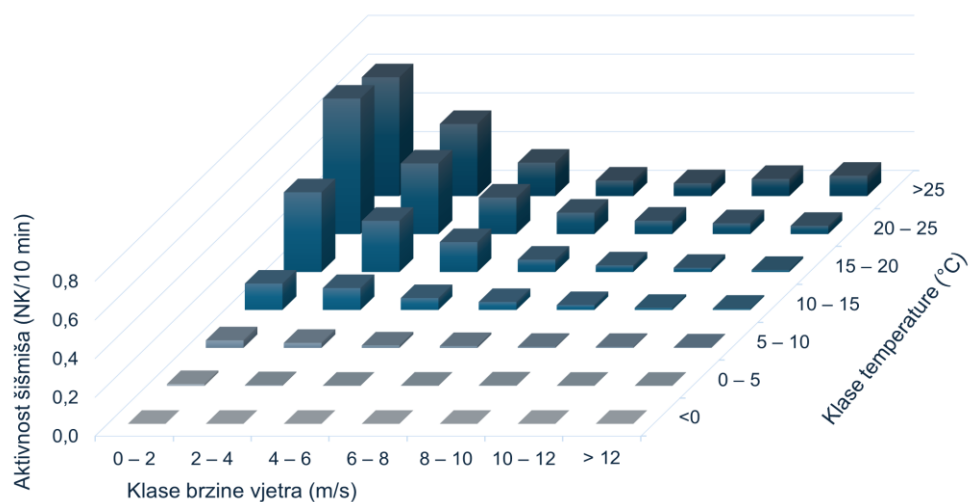
Tablica 16 Rezultati Kruskal–Wallisova testa i Dunnova post hoc testa za aktivnost šišmiša po kvartilima atmosferskog staničnog tlaka (Ba_s) i tlaka svedenog na razinu mora (Ba_0) za pojedine lokalitete (A – H) i sezone (n – broj 10-minutnih intervala uključenih u analizu; H – Kruskal–Wallisova test statistika; p – razina statističke značajnosti (podebljano < 0,05)); MR Q1 – Q4 – prosječni rang vrijednosti indeksa aktivnosti (NK/10 min) unutar svakog kvartila (Q1 – Q4) mikroklimatske varijable prema intenzitetu od najniže (označeno bijelom bojom) do najviše (označeno tamno sivom bojom); Dunn post hoc – broj i udio značajnih od ukupno 6 mogućih parova). Analize za skupine „SVI LOK” i „SVE SEZ” provedene su na objedinjenom skupu svih 10-minutnih intervala, pri čemu su zadržane pripadnosti kvartilima određene zasebno za svaki lokalitet odnosno za svaku sezonu.

Var	Grupa	n	H	p	MR Q1	MR Q2	MR Q3	MR Q4	Dunn post hoc
Ba_s	A	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba_s	B	9947	105,4	< 0,001	24970,0	25896,8	25465,0	23927,1	6; 100 %
Ba_s	C	30773	559,6	< 0,001	15060,7	16223,2	15619,0	14911,6	6; 100 %
Ba_s	D	15544	101,0	< 0,001	7473,6	7764,2	7901,2	7939,4	5; 83,3 %
Ba_s	E	15940	280,8	< 0,001	9320,4	9991,5	9818,9	9041,1	6; 100 %
Ba_s	F	17486	55,1	< 0,001	19231,1	19847,9	19798,6	20039,3	3; 50 %
Ba_s	G	12023	10,0	0,0	6078,3	5984,5	6062,1	5924,1	-
Ba_s	H	21356	425,1	< 0,001	9958,9	11026,4	11180,8	10612,3	2; 33,3 %
Ba_s	SVI LOK	123069	797,9	< 0,001	100741,5	106520,7	105641,3	101952,0	4; 66,7 %
Ba_s	ZIMA	11711	6,0	0,1	11734,6	11718,6	11758,7	11758,6	6; 100 %
Ba_s	PROLJ	19556	130,4	< 0,001	21839,3	21785,9	22461,5	22700,4	5; 83,3 %
Ba_s	LJETO	39425	334,4	< 0,001	33133,1	32836,1	30776,0	31148,6	5; 83,3 %
Ba_s	JESEN	52377	290,1	< 0,001	38565,6	36302,7	37183,2	37112,6	6; 100 %
Ba_s	SVE SEZ	123069	270,2	< 0,001	106135,5	103103,5	102574,1	103038,7	5; 83,3 %

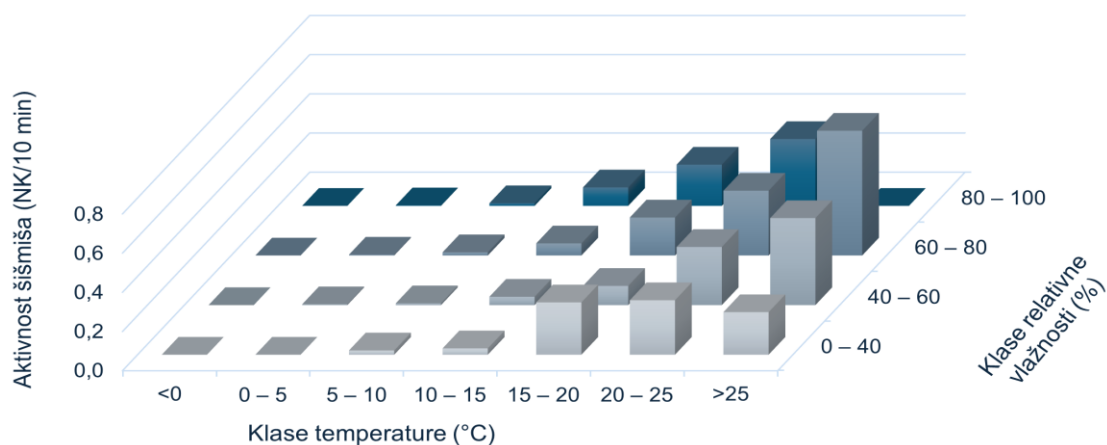
Var	Grupa	n	H	p	MR Q1	MR Q2	MR Q3	MR Q4	Dunn post hoc
Ba_0	A	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba_0	B	9947	103,5	< 0,001	24986,3	25901,9	25430,6	23924,6	6; 100 %
Ba_0	C	30773	559,3	< 0,001	15059,3	16220,5	15624,8	14910,8	6; 100 %
Ba_0	D	15544	103,9	< 0,001	7475,2	7766,9	7928,8	7923,8	5; 83,3 %
Ba_0	E	15940	280,8	< 0,001	9320,4	9991,5	9818,9	9041,1	6; 100 %
Ba_0	F	17486	54,9	< 0,001	19243,2	19846,2	19777,9	20052,4	4; 66,7 %
Ba_0	G	12023	9,0	0,0	6066,5	5998,9	6058,4	5918,8	2; 33,3 %
Ba_0	H	21356	412,6	< 0,001	9974,7	11011,5	11177,0	10614,3	6; 100 %
Ba_0	SVI LOK	123069	798,7	< 0,001	100800,6	106493,0	105707,3	101888,5	6; 100 %
Ba_0	ZIMA	11711	8,2	0,0	11718,6	11730,6	11750,7	11770,6	1; 16,7 %
Ba_0	LJETO	19556	276,8	< 0,001	30757,7	31778,8	31975,2	33371,5	5; 83,3 %
Ba_0	PROLJ	39425	180,7	< 0,001	21781,3	22973,7	21923,7	22109,9	4; 66,7 %
Ba_0	JESEN	52377	67,7	< 0,001	36814,7	37810,0	37513,6	37023,9	5; 83,3 %
Ba_0	SVE SEZ	123069	230,1	< 0,001	101564,7	104670,8	103775,5	104835,1	5; 83,3 %

4.3 Aktivnost šišmiša u odnosu na kombinaciju mikroklimatskih varijabli

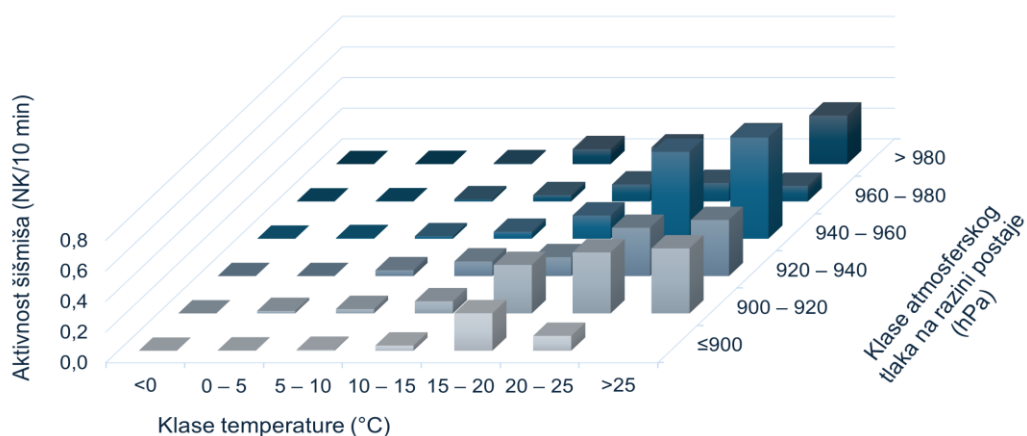
Bivarijatne raspodjele intenziteta aktivnosti šišmiša u odnosu na kombinacije klasa dviju mikroklimatskih varijabli prikazane su na Slikama 30 – 35. Najviši indeks aktivnosti najčešće je zabilježen pri kombinacijama umjerenih do viših temperatura zraka i nižih brzina vjetra. Deskriptivni prikazi upućuju na razlike u aktivnosti šišmiša među kombinacijama mikroklimatskih uvjeta, pri čemu su najizraženije promjene indeksa aktivnosti uočene među kombinacijama temperature zraka i brzine vjetra, dok su promjene povezane s relativnom vlažnošću zraka slabije izražene, a stanični atmosferski tlak ne pokazuje dosljedan smjer promjene kroz kombinacije klasa. Interakcije temperature zraka, brzine vjetra i relativne vlažnosti zraka detaljnije su analizirane u okviru multivarijatnih modela u poglavlju 4.4.



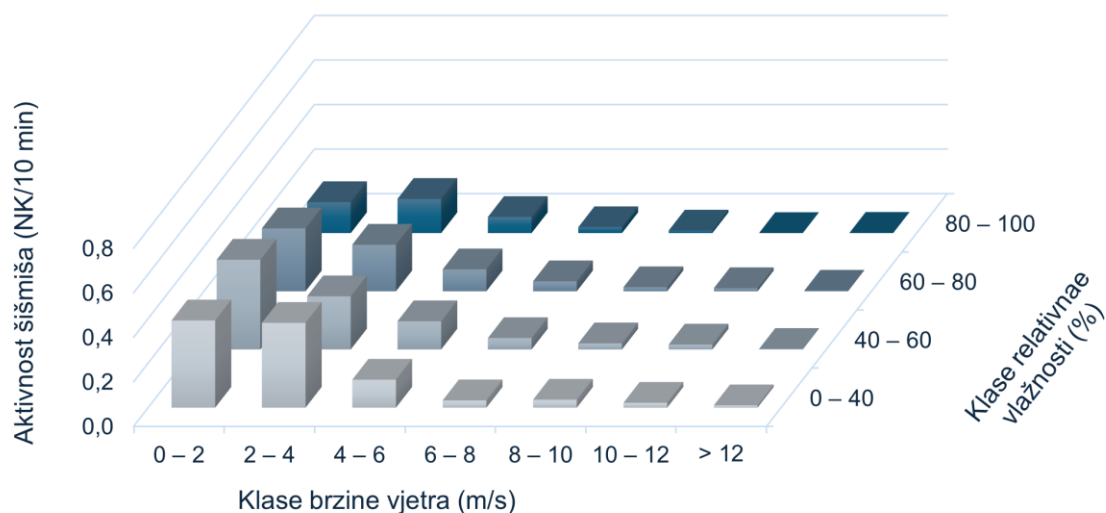
Slika 30 Indeks aktivnosti šišmiša po klasama brzine vjetra (m/s) i temperature zraka (°C)



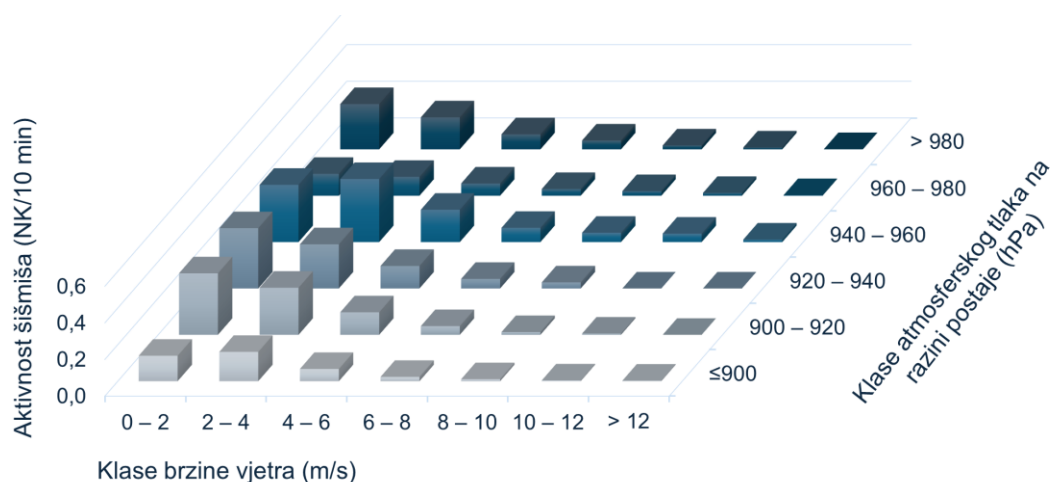
Slika 31 Indeks aktivnosti šišmiša po klasama temperature zraka (°C) i relativne vlažnosti zraka (%)



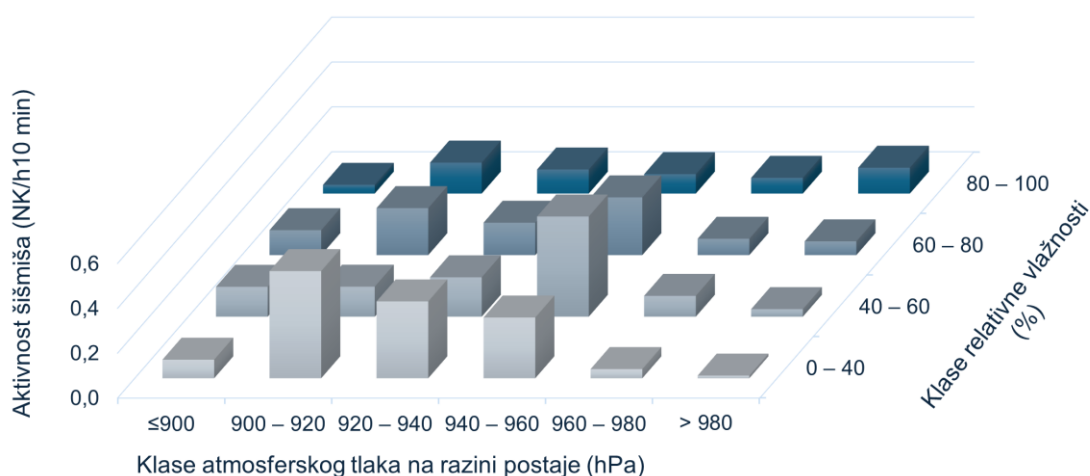
Slika 32 Indeks aktivnosti šišmiša po klasama temperature zraka (°C) i atmosferskog tlaka na razini mjerne postaje (hPa)



Slika 33 Indeks aktivnosti šišmiša po klasama brzine vjetra (m/s) i relativne vlažnosti zraka (%)



Slika 34 Indeks aktivnosti šišmiša po klasama brzine vjetra (m/s) i atmosferskog tlaka na razini mjerne postaje (hPa)



Slika 35 Indeks aktivnosti šišmiša po klasama atmosferskog tlaka na razini mjerne postaje (hPa) i relativne vlažnosti zraka (%)

4.4 Multivarijatni modeli učinka mikroklimе na aktivnost šišmiša

Analize pojedinačnih mikroklimatskih varijabli prikazane u prethodnom poglavlju omogućuju uvid u osnovne obrasce povezanosti aktivnosti šišmiša s pojedinim čimbenicima, ali ne uzimaju u obzir njihovu međusobnu povezanost i potencijalne nelinearne učinke. Zbog toga su u sljedećem koraku primijenjeni multivarijatni modeli koji omogućuju istodobno razmatranje odnosa više mikroklimatskih varijabli s pojavom i intenzitetom aktivnosti šišmiša.

Osnovni model uključivao je prediktore sezonske i noćne dinamike aktivnosti, relativnu mjesečinu te slučajni učinak lokaliteta i godine (loc_year). Na tu osnovnu strukturu hijerarhijski su dodavani i uspoređivani mikroklimatski prediktori, pri čemu je završni model obuhvaćao osnovni model i odabranu kombinaciju mikroklimatskih prediktora. Tablica 17 prikazuje sve nezavisne varijable korištene tijekom razvoja završnog multivarijatnog modela te zavisne varijable korištene za razvoj i primjenu završnog modela.

Tablica 17 Popis nezavisnih i zavisnih varijabli korištenih u multivarijatnim modelima utjecaja mikroklimе na aktivnost šišmiša (Kont – kontinuirane varijable, Kat – kategorične varijable). Svjetloplavom bojom označene su nezavisne varijable uključene u osnovni model, odnosno svaki model. Sivom bojom označene su mikroklimatske varijable izvedene za klizne vremenske intervale iz originalnih varijabli temperature, brzine vjetrova, relativne vlažnosti i atmosferskog staničnog tlaka, mjerenih na razini 10-minutnih intervala.

Kratica	Tip varijable	Opis	Napomena
NEZAVISNE VARIJABLE			
Osnovni model			
loc_year	Kat	Lokalitet i godina snimanja	Set A: Lokaliteti A – H; Set B: Lokaliteti B, C, E, F, G, H Godine: 2014 – 2024
julian_day_c	Kont	Centrirani julijanski dan datuma početka (večeri) snimanja	Ovisi o lokalitetu
Q_night	Kat	Kvartili noći od zalaska do izlaska Sunca	1q, 2q, 3q, 4q
moon_effective	Kont	Relativna mjesečina tj. dostupnost mjesečine prema koordinatama lokaliteta i vremenu	= udio mjesečeve osvijetljenosti (0 – 1) × max(0, sin(visina Mjeseca))
Mikroklimatski prediktori za nadogradnju osnovnog modela i razvoj završnog modela			
Tm_avg_10min	Kont	Prosječna temperatura zraka (°C) u 10-min intervalu	Set A, Set B
WS_avg_10min	Kont	Prosječna brzina vjetrova (m/s) u 10-min intervalu	Set A, Set B
Hm_avg_10min	Kont	Prosječna relativna vlažnost zraka (%) u 10-min intervalu	Set B

Kratika	Tip varijable	Opis	Napomena
Ba_s_avg_10min	Kont	Prosječni stanični atmosferski tlak (na razini postaje, hPa) u 10-min intervalu	Set B
Ba_anom_10min	Kont	Odstupanje tj. anomalija staničnog atmosferskog tlaka u odnosu na prosjek staničnog tlaka lokaliteta	Set B = Ba_s_avg_10min – Ba_s_avg_lokalitet
Ba_0_avg_10min	Kont	Prosječni atmosferski tlak na razini mora (hPa)	Set B = Ba_s_avg_10min – nadmorska visina / 8,5 [hPa]
*_avg_1h / 3h	Kont	Prosječna vrijednost unutar kliznog vremenskog intervala (promatrani i 5 / 17 prethodnih 10-min intervala)	-
*_chnrg_rang_1h / 3h	Kont	Dinamika – varijabilnost, odnosno relativni raspon vrijednosti unutar kliznog vremenskog intervala (promatrani i 5 / 17 prethodnih 10-min intervala)	= maksimalna – minimalna vrijednost unutar kliznog vremenskog intervala / maksimalna – minimalna vrijednost za lokalitet
*_diff_1h / 3h	Kont	Dinamika – smjer i intenzitet promjena vrijednosti unutar kliznog vremenskog intervala (promatrani i 5 / 17 prethodnih 10-min intervala)	= zadnja vrijednost – prva vrijednost unutar kliznog vremenskog intervala

ZAVISNE VARIJABLE

Razvoj i primjena završnog modela

N_sum_1h	Kont	Zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša unutar kliznog vremenskog intervala (promatrani i 5 sljedećih 10-min intervala) na razini ukupne aktivnosti	-
----------	------	---	---

Dodatna primjena završnog modela na fonetske skupine / vrste

ENV_sum_1h H-sav_sum_1h Pkn_sum_1h T-ten_sum_1h	Kont	Zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša unutar kliznog vremenskog intervala (promatrani i 5 sljedećih 10-min intervala) na razini fonetskih skupina / vrsta: ENV (<i>Eptesicus</i> / <i>Nyctalus</i> / <i>Vespertilio</i>), H-sav (<i>Hypsugo savii</i>), Pkn (<i>Pipistrellus kuhlii</i> / <i>P. nathusii</i>), T-ten (<i>Tadarida teniotis</i>)	
--	------	---	--

4.4.1 Odabir mikroklimatskih prediktora temperature i brzine vjetra

Odabir mikroklimatskih prediktora temperature i brzine vjetra proveden je usporedbom dvodijelnog (*hurdle*) GAMM modela koji odvojeno modelira pojavu aktivnosti ($N = 0 / N > 0$) i intenzitet aktivnosti šišmiša unutar aktivnih intervala ($N > 0$) na skupu podataka sa svim dostupnim mjerenjima temperature i brzine vjetra (Set A; lokaliteti A – H). Sažeti prikaz rezultata prikazuje Tablica 18, dok su cjeloviti rezultati usporedbe modela prikazani u Prilogu 4. Razlike u AIC vrijednostima između alternativnih vremenskih agregacija mikroklimatskih varijabli bile su velike (ΔAIC često > 100), što upućuje na snažan utjecaj vremenske rezolucije promatranih mikroklimatskih uvjeta na aktivnost šišmiša.

Prilikom odabira osnovnih prediktora temperature i vjetra, optimalna vremenska skala mikroklimatskih prediktora razlikovala se između dijela modela za pojavu aktivnosti i dijela modela za intenzitet aktivnosti. Za pojavu aktivnosti, najbolju prilagodbu pokazale su prosječna temperatura zraka agregirana na 3 h (Tm_avg_3h) i prosječna brzina vjetra agregirana na 1 h (WS_avg_1h). Za intenzitet aktivnosti, najbolju prilagodbu pokazale su trenutne 10-minutne vrijednosti temperature zraka (Tm_avg_10min) i brzine vjetra (WS_avg_10min).

U oba dijela modela dodatno uključivanje varijabli koje opisuju dinamiku (smjer i veličinu promjene ili varijabilnost) poboljšalo je prilagodbu modela. Najbolju prilagodbu pokazale su varijabilnost temperature zraka tijekom 3 h ($Tm_chng_rang_3h$) te smjer i intenzitet promjena brzine vjetra tijekom 1 h (WS_diff_1h).

U završnom koraku testirana je interakcija između temperature i brzine vjetra. U oba dijela modela najbolju prilagodbu pokazao je model koji uključuje navedenu interakciju, što upućuje na važnost zajedničkog razmatranja temperature i brzine vjetra pri modeliranju aktivnosti šišmiša.

Tablica 18 Odabir mikroklimatskih prediktora – Set A (N – zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša; ΔAIC – promjena vrijednosti AIC-a u odnosu na model iz prethodnog koraka odabira, pri čemu negativne vrijednosti označavaju poboljšanje modela; Dev_expl – udio objašnjene devijance; R^2_{adj} – prilagođeni koeficijent determinacije, tj. udio varijabilnosti u aktivnosti šišmiša koji model objašnjava; n – veličina uzorka). Tablica 17 opisuje kratice mikroklimatskih varijabli. U svakom koraku odabira zadržani su svi prediktori odabrani u prethodnim koracima, dok je u tekućem koraku testirano uključivanje dodatne skupine mikroklimatskih prediktora.

Dio modela	Korak	Testirana komponenta	Odabrani kandidat	AIC	ΔAIC u odnosu na prethodni korak	Dev_expl	R^2_{adj}	n
Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)	S0	Osnovni model	sezonska dinamika (s(julian_day_c, by = Q_night)) + kvartili noći (Q_night) + moon_effective + slučajni učinak loc_year	150326,03		0,1748	0,2101	137524
	S1	Osnovni prediktori temperature i vjetra – sve kombinacije	Tm_avg_3h + WS_avg_1h	134883,18	-15442,84	0,2597	0,3019	137524
	S2	Dinamika temperature	Tm_chng_rang_3h	134585,66	-297,53	0,2614	0,3035	137524
	S3	Dinamika brzine vjetra	WS_diff_1h	134417,17	-168,48	0,2624	0,3047	137524
	S4	Interakcije mikrokline	Tm × WS	134201,71	-215,47	0,2637	0,3059	137524
Intenzitet aktivnosti (N > 0)	S0	Osnovni model	sezonska dinamika (s(julian_day_c, by = Q_night)) + kvartili noći (Q_night) + moon_effective + slučajni učinak loc_year	271441,25		0,2434	0,1584	51563
	S1	Osnovni prediktori temperature i vjetra – sve kombinacije	Tm_avg_10min + WS_avg_10min	266409,27	-5031,98	0,3179	0,1904	51563
	S2	Dinamika temperature	Tm_chng_rang_3h	266067,96	-341,31	0,3229	0,1926	51563
	S3	Dinamika brzine vjetra	WS_diff_1h	265987,55	-80,41	0,3241	0,1935	51563
	S4	Interakcije mikrokline	Tm × WS	265657,12	-330,43	0,3290	0,1945	51563

4.4.2 Odabir mikroklimatskih prediktora relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka

Odabir mikroklimatskih prediktora relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka proveden je usporedbom modela na podskupu podataka koji je uključivao sva dostupna mjerenja temperature zraka, brzine vjetra, relativne vlažnosti zraka i atmosferskog tlaka (set B) (lokaliteti B, C, E, F, G, H). U ovoj analizi zadržana je osnovna struktura modela definirana u analizi seta A, uključujući optimalne vremenske skale temperature i brzine vjetra, njihove dinamike te interakciju između temperature i brzine vjetra. Na tu osnovnu strukturu postupno su dodavane varijable relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka te varijable koje opisuju njihovu dinamiku. Sažete rezultate hijerarhijskog postupka prikazuje Tablica 19, dok su cjeloviti rezultati prikazani u Prilogu 4.

U prvom koraku testirane su različite prosječne relativne vlažnosti zraka na različitim vremenskim skalama. U oba dijela dvodijelnog (*hurdle*) GAMM modela najbolju prilagodbu pokazale su prosječne 10-minutne vrijednosti (Hm_avg_10min). U sljedećem koraku testiran je dodatni doprinos dinamike (smjera i intenziteta promjena te varijabilnosti) relativne vlažnosti, pri čemu je u oba dijela modela najbolju prilagodbu pokazala varijabilnost tijekom 3 h (Hm_chng_rang_3h), dok su ostale testirane varijable pokazale slabiju prilagodbu modela.

Zatim su testirane različite varijable koje opisuju osnovnu razinu tlaka, uključujući stanični atmosferski tlak (na razini postaje), tlak sveden na razinu mora te anomaliju tlaka tj. odstupanje od prosječne vrijednosti tlaka na lokalitetu. U modeliranju pojave aktivnosti najbolju prilagodbu pokazala je anomalija tlaka (Ba_anom_10min), dok je u modeliranju intenziteta aktivnosti najbolju prilagodbu modela pokazao tlak reduciran na razinu mora (Ba_0_avg_10min). Nakon toga testirane su varijable koje opisuju dinamiku (promjenu i varijabilnost) atmosferskog tlaka. U modeliranju pojave aktivnosti najbolju prilagodbu pokazala je promjena tlaka tijekom 3 h (Ba_diff_3h), dok je za intenzitet aktivnosti najbolju prilagodbu pokazala varijabilnost tlaka tijekom 1 h (Ba_chng_rang_1h).

Tablica 19 Odabir mikroklimatskih prediktora relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka – Set B (N – zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša; ΔAIC – promjena vrijednosti AIC-a u odnosu na model iz prethodnog koraka odabira, pri čemu negativne vrijednosti označavaju poboljšanje modela; Dev_expl – udio objašnjene devijance; R^2_{adj} – prilagođeni koeficijent determinacije, tj. udio varijabilnosti u aktivnosti šišmiša koji model objašnjava; n – veličina uzorka). Tablica 17 opisuje kratice mikroklimatskih varijabli. U svakom koraku odabira zadržani su svi prediktori odabrani u prethodnim koracima, dok je u tekućem koraku testirano uključivanje dodatne skupine mikroklimatskih prediktora.

Dio modela	Korak	Testirana komponenta	Odabrani kandidat	AIC	ΔAIC u odnosu na prethodni korak	Dev_expl	R^2_{adj}	n
Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)	S0	Model odabran za set A	sezonska dinamika (s(julian_day_c, by = Q_night)) + kvartili noći (Q_night) + moon_effective + slučajni učinak loc_year + Tm_avg_3h + WS_avg_1h + Tm_chng_rang_3h + WS_diff_1h + Tm × WS	70973,69	–	0,2719	0,3139	73492
	S1	Osnovna vrijednost rel. vlažnosti	Hm_avg_10min	70913,40	-60,29	0,2727	0,3144	73492
	S2	Dinamika vlažnosti	Hm_chng_rang_3h	70809,23	-104,17	0,2737	0,3155	73492
	S3	Osnovna vrijednost atm. tlaka	Ba_anom_10min	70388,42	-420,81	0,2783	0,3210	73492
	S4	Dinamika atm. tlaka	Ba_diff_3h	70349,62	-38,80	0,2788	0,3214	73492
	S5	Interakcije	Hm × Tm + Hm × WS	69807,42	-542,20	0,2853	0,3272	73492
Intenzitet aktivnosti (N > 0)	S0	Model odabran za set A	sezonska dinamika (s(julian_day_c, by = Q_night)) + kvartili noći (Q_night) + moon_effective + slučajni učinak loc_year + Tm_avg_10min + WS_avg_10min + Tm_chng_rang_3h + WS_diff_1h + Tm × WS	141534,26	–	0,4195	0,2954	27551
	S1	Osnovna vrijednost rel. vlažnosti	Hm_avg_10min	141296,73	-237,53	0,4252	0,2992	27551
	S2	Dinamika rel. vlažnosti	Hm_chng_rang_3h	141108,18	-188,54	0,4298	0,2992	27551
	S3	Osnovna vrijednost atm. tlaka	Ba_0_avg_10min	141050,36	-57,82	0,4314	0,2988	27551
	S4	Dinamika atm. tlaka	Ba_chng_rang_1h	141018,06	-32,30	0,4322	0,2997	27551
	S5	Interakcije	Hm × Tm + Hm × WS	140196,53	-821,52	0,4527	0,3147	27551

U završnom koraku analizirane su interakcije relativne vlažnosti s temperaturom zraka i brzinom vjetra. U oba dijela, model koji uključuje obje interakcije ($Hm \times Tm$ i $Hm \times WS$) pokazao je najbolju prilagodbu. Izostavljanje jedne ili obje interakcije rezultiralo je značajnim povećanjem AIC vrijednosti, što upućuje na važnost uključivanja interakcija relativne vlažnosti zraka s temperaturom zraka i brzinom vjetra u model.

Budući da su različite varijable tlaka odabrane kao optimalne u dijelovima modela za pojavu i intenzitet aktivnosti šišmiša, provedena je dodatna usporedba kombinacija odabranih varijabli za model intenziteta aktivnosti kako bi se procijenila robusnost odabira prediktora (Tablica 20). Rezultati ove provjere pokazali su da kombinacija s anomalijom tlaka ($Ba_anom_10min + Ba_chng_rang_1h$) daje jednako objašnjenu devijancu te relativno malu razliku u vrijednosti AIC-a u odnosu na kombinaciju s prosječnim tlakom svedenim na razinu mora ($Ba_0_avg_10min + Ba_chng_rang_1h$). Budući da je anomalija tlaka već bila odabrana kao optimalna varijabla u modelu pojave aktivnosti, a u modelu intenziteta aktivnosti pokazala je gotovo jednaku prilagodbu kao tlak sveden na razinu mora, za oba dijela modela zadržana je anomalija tlaka (Ba_anom_10min) kao osnovna varijabla atmosferskog tlaka jer omogućuje jednostavniju interpretaciju rezultata.

Tablica 20 Dodatna usporedba alternativnih reprezentacija atmosferskog tlaka u modelu intenziteta aktivnosti (ΔAIC – razlika u vrijednosti AIC-a između najboljeg modela i alternativnih modela unutar pojedinog koraka odabira, Dev_expl – udio objašnjene devijance; R^2_adj – prilagođeni koeficijent determinacije, tj. udio varijabilnosti u aktivnosti šišmiša koji model objašnjava; n – veličina uzorka). Tablica 17 opisuje kratice mikroklimatskih varijabli. Svi modeli sadržavali su osnovnu strukturu završnog Set B modela intenziteta aktivnosti (sezonska dinamika + kvartili noći + relativna mjesečina + slučajni učinak lokaliteta i godine + temperatura, brzina vjetra, relativna vlažnost i njihova dinamika + interakcije), a razlikovali su se isključivo u reprezentaciji atmosferskog tlaka.

Testirana komponenta	AIC	ΔAIC	Dev_expl	R^2_adj	n
$Ba_anom_10min + Ba_chng_rang_1h$	140337,6	-	0,451	0,311	27551
$Ba_0_avg_10min + Ba_chng_rang_1h$	140344,7	7,08	0,451	0,311	27551
$Ba_0_avg_10min + Ba_diff_3h$	140396,9	59,29	0,450	0,313	27551
$Ba_anom_10min + Ba_diff_3h$	140397,7	60,10	0,450	0,313	27551
Ba_diff_3h	140405,4	67,80	0,449	0,311	27551

4.4.3 Završni modeli

Na temelju hijerarhijskog postupka odabira prediktora u analizama podataka seta A i seta B definiran je završni GAMM dvodijelni (*hurdle*) model s odabranim mikroklimatskim prediktorima (Tablica 21) koji odvojeno modelira pojavu aktivnosti ($N = 0 / N > 0$) i intenzitet aktivnosti šišmiša unutar aktivnih intervala ($N > 0$). U oba dijela modela zadržane su varijable koje opisuju sezonsku dinamiku aktivnosti, odnosno glatku funkciju centriranog julijanskog dana odvojeno po kvartilima noći, kvartile noći kao kategorijsku varijablu, relativnu mjesečinu te slučajni učinak lokaliteta i godine. Kao i tijekom prijašnjih analiza, kao zavisna varijabla korišten je zbroj 5 s snimki s aktivnosti šišmiša na razini 1 h unutar klznog vremenskog intervala. Aktivnost je agregirana unaprijed kako bi se procijenio ukupni intenzitet aktivnosti u promatranom razdoblju, dok su mikroklimatske varijable agregirane na temelju prethodnih intervala kako bi predstavljala uvjete koji su prethodili zabilježenoj aktivnosti. Box-whisker dijagrami prediktora uključenih u završni model prikazani su u Prilogu 5, histogrami distribucija u Prilogu 6, a korelacijske matrice u Prilogu 7.

Tablica 21 Odabrani mikroklimatski prediktori u završnom GAMM dvodijelnom (*hurdle*) modelu pojave i intenziteta aktivnosti šišmiša (N – zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša, T_m – temperatura zraka; WS – brzina vjetra; H_m – relativna vlažnost zraka; Ba – atmosferski tlak; $*_diff$ – razlika između završne i početne vrijednosti klznog vremenskog intervala; $*_chngrang$ – relativni raspon promjene unutar klznog vremenskog intervala). Završni model u oba dijela uključivao je osnovni model (sezonska dinamika: $s(julian_day_c, by = Q_night) + kvartili\ noći (Q_night) + moon_effective + slučajni\ učinak\ loc_year$) te mikroklimatske prediktore prikazane u tablici.

Mikroklimatski prediktori	Pojava aktivnosti ($N = 0 / N > 0$)	Intenzitet aktivnosti ($N > 0$)
Temperatura zraka	$T_m_avg_3h$	$T_m_avg_10min$
Dinamika temperature zraka	$T_m_chngrang_3h$	$T_m_chngrang_3h$
Brzina vjetra	WS_avg_1h	WS_avg_10min
Dinamika brzine vjetra	WS_diff_1h	WS_diff_1h
Relativna vlažnost zraka	$H_m_avg_10min$	$H_m_avg_10min$
Dinamika rel. vlažnosti zraka	$H_m_chngrang_3h$	$H_m_chngrang_3h$
Atmosferski tlak	Ba_anom_10min	Ba_anom_10min
Dinamika atmosferskog tlaka	Ba_diff_3h	$Ba_chngrang_1h$
Interakcije mikroklimе	$T_m \times WS; H_m \times T_m;$ $H_m \times WS$	$T_m \times WS; H_m \times T_m;$ $H_m \times WS$

Završni model primijenjen je na ukupnu aktivnost šišmiša te zasebno na dominantne vrste i fonetske skupine kako bi se procijenilo u kojoj se mjeri obrasci utvrđeni za ukupnu aktivnost zadržavaju i na razini pojedinih vrsta i fonetskih skupina (Tablica 22). U modelima pojave aktivnosti najveći udio objašnjene devijance (Dev_expl) i najveća vrijednost prilagođenog koeficijenta determinacije (R^2_{adj}) zabilježen je za set B za vrstu *Hypsugo savii* (Dev_expl = 0,4034; R^2_{adj} = 0,3413). Modeli intenziteta aktivnosti najčešće su objašnjavali veći udio devijance, s najvišom vrijednošću za set B za vrstu *Tadarida teniotis* (Dev_expl = 0,5791; R^2_{adj} = 0,4404). Veličina uzorka u modelima intenziteta za vrste i fonetske skupine razlikovala se jer je uzorak uključivao samo opažanja u kojima je zabilježena njihova aktivnost.

U daljnjim analizama, s obzirom na veći uzorak, modeli seta A korišteni su za prikaz vremenske dinamike aktivnosti te usporedne grafičke prikaze učinka temperature zraka, brzine vjetra i relativne mjesečine na aktivnost šišmiša. Ostali rezultati i detaljnija interpretacija mikroklimatskih prediktora temelje se na modelima seta B.

Tablica 22 Sažetak završnih GAMM dvodijelnih (*hurdle*) modela pojave i intenziteta ukupne aktivnosti te aktivnosti odabranih dominantnih vrsta i fonetskih skupina šišmiša (Dev_expl – udio objašnjene devijance; R^2_{adj} – prilagođeni koeficijent determinacije, tj. udio varijabilnosti u aktivnosti šišmiša koji model objašnjava; n – veličina uzorka). Za sve završne modele korišten je osnovni model nadograđen odabranim mikroklimatskim prediktorima koje prikazuje Tablica 21.

Zavisna varijabla (*_sum_1h)	Model	Dev_expl	R^2_{adj}	n
SET A				
Ukupna aktivnost	Pojava	0,2637	0,3059	137524
	Intenzitet	0,3290	0,1945	51563
<i>Eptesicus</i> / <i>Nyctalus</i> / <i>Vespertilio</i>	Pojava	0,2705	0,2365	137524
	Intenzitet	0,2195	0,1400	18089
<i>Hypsugo savii</i>	Pojava	0,3518	0,2769	137524
	Intenzitet	0,4432	0,1966	11720
<i>Pipistrellus kuhlii</i> / <i>P. nathusii</i>	Pojava	0,3095	0,3125	137524
	Intenzitet	0,4011	0,1596	23504
<i>Tadarida teniotis</i>	Pojava	0,1828	0,1568	137524
	Intenzitet	0,4630	0,3619	19265
SET B				
Ukupna aktivnost	Pojava	0,2848	0,3265	73492
	Intenzitet	0,4526	0,3150	27551
<i>Eptesicus</i> / <i>Nyctalus</i> / <i>Vespertilio</i>	Pojava	0,2707	0,2310	73492
	Intenzitet	0,2587	0,2013	10232
<i>Hypsugo savii</i>	Pojava	0,4034	0,3413	73492
	Intenzitet	0,5115	0,2489	7265
<i>Pipistrellus kuhlii</i> / <i>P. nathusii</i>	Pojava	0,3121	0,3043	73492
	Intenzitet	0,4274	0,2247	11111
<i>Tadarida teniotis</i>	Pojava	0,2158	0,1980	73492
	Intenzitet	0,5791	0,4404	11030

Za ukupnu aktivnost za set B sve glatke funkcije julijanskog dana po kvartilima noći, uključenih mikroklimatskih prediktora i njihove odabrane interakcije bile su statistički značajne ($p < 0,05$) u oba dijela *hurdle* modela, uz iznimku relativne mjesečine, koja nije bila značajna u modeliranju pojave aktivnosti (Tablica 23). Vrijednosti χ^2 i F statistika razlikuju se među prediktorima, pri čemu su temperatura zraka i brzina vjetra među mikroklimatskim prediktorima pokazale najveće vrijednosti testnih statistika u oba dijela modela. U modelima seta A svi su prediktori bili statistički značajni ($p < 0,05$).

Tablica 23 Procjena značajnosti prediktora u GAMM dvodijelnom (*hurdle*) modelu pojave i intenziteta ukupne aktivnosti šišmiša za set B (N – zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša, Edf (eng. *effective degrees of freedom*) – stvarni broj stupnjeva slobode koje je model iskoristio za oblik krivulje koji pokazuje složenost glatke funkcije; vrijednosti > 1 znače nelinearan odnos, a veće vrijednosti upućuju na kompleksniji oblik krivulje; Ref. df – referentni broj stupnjeva slobode koji se koristi za izračun χ^2 / F-statistike u testu značajnosti glatke funkcije; χ^2 / F – testna statistika kojom se procjenjuje statistička značajnost pojedinog prediktora ili interakcije u modelu, uz istodobno uzimanje u obzir svih ostalih prediktora (χ^2 za binomni model pojave aktivnosti, F za negativno binomni model intenziteta aktivnosti); p – procjena statističke značajnosti).

Prediktori	Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)				Intenzitet aktivnosti (N > 0)			
	Edf	Ref.df	χ^2	p	Edf	Ref.df	F	p
s(julian_day_c):Q_night1q	11,892	19	1965,842	< 0,001	34,335	39	64,292	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night2q	16,113	19	2032,684	< 0,001	33,260	39	30,695	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night3q	15,780	19	1550,434	< 0,001	32,550	39	27,032	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night4q	14,771	19	595,783	< 0,001	24,726	38	8,057	< 0,001
s(moon_effective)	0,002	5	0,001	0,443	2,369	5	15,757	< 0,001
s(Tm)	3,742	5	73,684	< 0,001	4,507	5	23,428	< 0,001
s(WS)	2,592	5	29,347	< 0,001	0,997	5	64,302	< 0,001
s(Tm_dinamika)	3,899	5	195,283	< 0,001	3,549	5	113,755	< 0,001
s(WS_dinamika)	3,060	5	86,873	< 0,001	3,333	5	11,932	< 0,001
s(Hm)	3,120	5	47,320	< 0,001	2,365	5	2,920	< 0,001
s(Hm_dinamika)	3,519	5	163,124	< 0,001	4,468	5	30,042	< 0,001
s(Ba)	4,846	5	394,654	< 0,001	0,946	5	4,194	< 0,001
s(Ba_dinamika)	4,207	5	54,514	< 0,001	3,636	5	7,072	< 0,001
ti(Tm x WS)	16,569	25	147,937	< 0,001	14,886	25	9,833	< 0,001
ti(Tm x Hm)	18,905	25	177,790	< 0,001	17,404	25	16,604	< 0,001
ti(WS x Hm)	11,966	25	169,029	< 0,001	17,158	25	7,988	< 0,001
s(loc_year)	5,981	7	1467,527	< 0,001	5,993	6	400,686	< 0,001

Procjena značajnosti prediktora za fonetsku skupinu *Eptesicus / Nyctalus / Vespertilio* u dvodijelnom (*hurdle*) modelu seta B pokazuje da je većina prediktora statistički značajna ($p < 0,05$), osim brzine vjetra u modelu pojave aktivnosti te temperature zraka i njene dinamike u modelu intenziteta (Tablica 24). U oba dijela modela seta A svi su prediktori bili statistički značajni ($p < 0,05$).

Tablica 24 Procjena značajnosti prediktora u GAMM dvodijelnom (*hurdle*) modelu pojave i intenziteta aktivnosti fonetske skupine *Eptesicus / Nyctalus / Vespertilio* za set B (N – zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša, Edf (eng. *effective degrees of freedom*) – stvarni broj stupnjeva slobode koje je model iskoristio za oblik krivulje koji pokazuje složenost glatke funkcije; vrijednosti > 1 znače nelinearan odnos, a veće vrijednosti upućuju na kompleksniji oblik krivulje; Ref. df – referentni broj stupnjeva slobode koji se koristi za izračun χ^2 / F-statistike u testu značajnosti glatke funkcije; χ^2 / F – testna statistika kojom se procjenjuje statistička značajnost pojedinog prediktora ili interakcije u modelu, uz istodobno uzimanje u obzir svih ostalih prediktora (χ^2 za binomni model pojave aktivnosti, F za negativno binomni model intenziteta aktivnosti); p – procjena statističke značajnosti).

Prediktori	Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)				Intenzitet aktivnosti (N > 0)			
	Edf	Ref.df	χ^2	p	Edf	Ref.df	F	p
s(julian_day_c):Q_night1q	15,678	19	1771,222	< 0,001	32,704	39	13,935	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night2q	15,846	19	1872,698	< 0,001	21,269	39	4,749	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night3q	16,264	19	1904,511	< 0,001	25,564	38	8,799	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night4q	14,328	19	696,637	< 0,001	20,788	38	4,838	< 0,001
s(moon_effective)	3,618	5	28,098	< 0,001	3,469	5	5,864	< 0,001
s(Tm)	4,324	5	69,309	< 0,001	0,659	5	0,510	0,071
s(WS)	0,001	5	0,001	0,084	1,935	5	2,049	0,001
s(Tm_dinamika)	4,041	5	144,796	< 0,001	1,426	5	0,749	0,142
s(WS_dinamika)	2,350	5	35,222	< 0,001	1,834	5	1,251	0,024
s(Hm)	0,905	5	9,521	< 0,001	4,132	5	5,639	< 0,001
s(Hm_dinamika)	3,721	5	162,377	< 0,001	0,727	5	0,632	0,048
s(Ba)	3,498	5	325,217	< 0,001	3,097	5	8,330	< 0,001
s(Ba_dinamika)	3,624	5	24,441	< 0,001	3,352	5	4,982	< 0,001
ti(Tm x WS)	14,785	25	580,222	< 0,001	9,897	25	2,462	< 0,001
ti(Tm x Hm)	14,311	25	230,782	< 0,001	18,316	25	8,629	< 0,001
ti(WS x Hm)	11,944	25	106,572	< 0,001	3,799	25	0,586	0,001
s(loc_year)	5,938	6	1166,510	< 0,001	5,933	6	50,085	< 0,001

Procjena značajnosti prediktora za vrstu *Hypsugo savii* u modelu seta B pokazuje da je većina statistički značajna ($p < 0,05$), osim relativne mjesečine u modelu pojave aktivnosti te dinamike relativne vlažnosti u modelu intenziteta (Tablica 25). U modelima seta A svi su prediktori bili statistički značajni ($p < 0,05$).

Tablica 25 Procjena značajnosti prediktora u GAMM dvodijelnom (*hurdle*) modelu pojave i intenziteta aktivnosti vrste *Hypsugo savii* za set B (N – zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša, Edf (eng. *effective degrees of freedom*) – stvarni broj stupnjeva slobode koje je model iskoristio za oblik krivulje koji pokazuje složenost glatke funkcije; vrijednosti > 1 znače nelinearan odnos, a veće vrijednosti upućuju na kompleksniji oblik krivulje; Ref. df – referentni broj stupnjeva slobode koji se koristi za izračun χ^2 / F -statistike u testu značajnosti glatke funkcije; χ^2 / F – testna statistika kojom se procjenjuje statistička značajnost pojedinog prediktora ili interakcije u modelu, uz istodobno uzimanje u obzir svih ostalih prediktora (χ^2 za binomni model pojave aktivnosti, F za negativno binomni model intenziteta aktivnosti); p – procjena statističke značajnosti).

Prediktori	Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)				Intenzitet aktivnosti (N > 0)			
	Edf	Ref.df	χ^2	p	Edf	Ref.df	F	p
s(julian_day_c):Q_night1q	11,787	19	760,305	< 0,001	5,966	7	1496,338	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night2q	12,394	19	775,006	< 0,001	28,941	39	16,755	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night3q	14,144	19	548,018	< 0,001	24,430	38	6,072	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night4q	9,238	19	255,184	< 0,001	6,224	37	1,017	< 0,001
s(moon_effective)	1,508	5	6,238	0,160	5,268	31	1,450	< 0,001
s(Tm)	3,118	5	41,179	< 0,001	0,995	5	40,633	< 0,001
s(WS)	3,675	5	59,152	< 0,001	2,166	5	5,562	< 0,001
s(Tm_dinamika)	2,938	5	139,606	< 0,001	1,062	5	8,669	< 0,001
s(WS_dinamika)	1,946	5	91,603	< 0,001	2,804	5	25,754	< 0,001
s(Hm)	3,621	5	42,121	< 0,001	3,055	5	6,524	< 0,001
s(Hm_dinamika)	3,219	5	25,799	< 0,001	2,010	5	1,322	0,736
s(Ba)	3,185	5	126,284	< 0,001	0,000	5	0,000	< 0,001
s(Ba_dinamika)	4,252	5	79,182	< 0,001	4,683	5	6,181	< 0,001
ti(Tm x WS)	10,271	25	135,756	< 0,001	4,805	5	14,701	< 0,001
ti(Tm x Hm)	18,515	25	247,061	< 0,001	12,332	25	3,319	< 0,001
ti(WS x Hm)	15,061	25	114,747	< 0,001	14,223	25	11,580	< 0,001
s(loc_year)	5,966	7	1496,338	< 0,001	13,434	25	3,617	< 0,001

Procjena značajnosti prediktora za fonetsku skupinu *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii* pokazuje da svi u dvodijelnom (*hurdle*) modelu seta B statistički značajni ($p < 0,05$), osim relativne vlažnosti i anomalije atmosferskog tlaka u modelu intenziteta (Tablica 26). U modelima seta A svi su prediktori bili statistički značajni ($p < 0,05$).

Tablica 26 Procjena značajnosti prediktora u GAMM dvodijelnom (*hurdle*) modelu pojave i intenziteta aktivnosti fonetske skupine *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii* za set B (N – zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša, Edf (eng. *effective degrees of freedom*) – stvarni broj stupnjeva slobode koje je model iskoristio za oblik krivulje koji pokazuje složenost glatke funkcije; vrijednosti > 1 znače nelinearan odnos, a veće vrijednosti upućuju na kompleksniji oblik krivulje; Ref. df – referentni broj stupnjeva slobode koji se koristi za izračun χ^2 / F-statistike u testu značajnosti glatke funkcije; χ^2 / F – testna statistika kojom se procjenjuje statistička značajnost pojedinog prediktora ili interakcije u modelu, uz istodobno uzimanje u obzir svih ostalih prediktora (χ^2 za binomni model pojave aktivnosti, F za negativno binomni model intenziteta aktivnosti); p – procjena statističke značajnosti).

Prediktori	Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)				Intenzitet aktivnosti (N > 0)			
	Edf	Ref.df	χ^2	p	Edf	Ref.df	F	p
s(julian_day_c):Q_night1q	16,822	19	1170,990	< 0,001	27,612	39	24,425	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night2q	14,976	19	912,647	< 0,001	25,982	39	21,119	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night3q	13,270	19	806,991	< 0,001	23,900	38	9,314	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night4q	10,385	19	305,094	< 0,001	7,031	33	2,754	< 0,001
s(moon_effective)	2,025	5	47,262	< 0,001	2,488	5	23,219	< 0,001
s(Tm)	0,965	5	24,343	< 0,001	0,970	5	7,409	< 0,001
s(WS)	3,624	5	96,609	< 0,001	3,489	5	45,295	< 0,001
s(Tm_dinamika)	1,360	5	14,851	0,008	3,702	5	19,895	< 0,001
s(WS_dinamika)	2,809	5	108,332	< 0,001	3,185	5	6,936	< 0,001
s(Hm)	2,728	5	19,632	< 0,001	0,668	5	0,405	0,051
s(Hm_dinamika)	3,624	5	76,057	< 0,001	2,837	5	4,129	< 0,001
s(Ba)	3,342	5	281,164	< 0,001	1,598	5	0,830	0,081
s(Ba_dinamika)	4,824	5	67,190	< 0,001	3,856	5	11,606	< 0,001
ti(Tm x WS)	12,678	25	149,085	< 0,001	12,205	25	5,699	< 0,001
ti(Tm x Hm)	16,802	25	140,662	< 0,001	15,655	25	13,256	< 0,001
ti(WS x Hm)	8,451	25	43,003	< 0,001	13,846	25	7,722	< 0,001
s(loc_year)	5,973	6	2037,309	< 0,001	5,894	7	71,437	< 0,001

Procjena značajnosti prediktora za vrstu *Tadarida teniotis* u dvodijelnom (*hurdle*) modelu seta B pokazuje da većina pokazuje statistički značajan učinak ($p < 0,05$), osim dinamike atmosferskog tlaka u modelu pojave aktivnosti te dinamike vjetera i tlaka u modelu intenziteta (Tablica 27). U oba dijela modela seta A svi su prediktori bili statistički značajni.

Tablica 27 Procjena značajnosti prediktora u GAMM dvodijelnom (*hurdle*) modelu pojave i intenziteta aktivnosti vrste *Tadarida teniotis* za set B (N – zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša, Edf (eng. *effective degrees of freedom*) – stvarni broj stupnjeva slobode koje je model iskoristio za oblik krivulje koji pokazuje složenost glatke funkcije; vrijednosti > 1 znače nelinearan odnos, a veće vrijednosti upućuju na kompleksniji oblik krivulje; Ref. df – referentni broj stupnjeva slobode koji se koristi za izračun χ^2 / F-statistike u testu značajnosti glatke funkcije; χ^2 / F – testna statistika kojom se procjenjuje statistička značajnost pojedinog prediktora ili interakcije u modelu, uz istodobno uzimanje u obzir svih ostalih prediktora (χ^2 za binomni model pojave aktivnosti, F za negativno binomni model intenziteta aktivnosti); p – procjena statističke značajnosti).

Prediktori	Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)				Intenzitet aktivnosti (N > 0)			
	Edf	Ref.df	χ^2	p	Edf	Ref.df	F	p
s(julian_day_c):Q_night1q	14,698	19	1319,334	< 0,001	24,935	39	21,833	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night2q	18,077	19	971,949	< 0,001	31,755	39	22,378	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night3q	15,843	19	794,158	< 0,001	31,362	39	23,250	< 0,001
s(julian_day_c):Q_night4q	16,237	19	341,930	< 0,001	22,211	38	5,783	< 0,001
s(moon_effective)	0,931	5	13,600	< 0,001	4,135	5	8,645	< 0,001
s(Tm)	4,538	5	68,290	< 0,001	3,069	5	2,907	0,001
s(WS)	2,979	5	46,085	< 0,001	1,508	5	28,541	< 0,001
s(Tm_dinamika)	3,915	5	169,521	< 0,001	3,794	5	17,684	< 0,001
s(WS_dinamika)	2,639	5	14,796	0,001	0,002	5	0,000	0,354
s(Hm)	3,134	5	19,325	< 0,001	2,262	5	3,107	< 0,001
s(Hm_dinamika)	2,929	5	173,095	< 0,001	0,987	5	19,481	< 0,001
s(Ba)	2,946	5	35,898	< 0,001	2,323	5	6,339	< 0,001
s(Ba_dinamika)	0,000	5	0,000	0,346	1,125	5	0,525	0,105
ti(Tm x WS)	11,870	25	150,097	< 0,001	11,833	25	3,828	< 0,001
ti(Tm x Hm)	18,818	25	231,492	< 0,001	19,889	25	8,777	< 0,001
ti(WS x Hm)	12,955	25	103,238	< 0,001	12,323	25	2,357	< 0,001
s(loc_year)	5,992	6	2770,694	< 0,001	5,982	7	198,489	< 0,001

Parametrijski koeficijenti kvartila noći za ukupnu aktivnost za set B ukazuju na smanjenje vjerojatnosti pojave aktivnosti te intenziteta aktivnosti u kasnijim kvartilima noći, osobito u četvrtom kvartilu (Tablica 28). Navedeni koeficijenti predstavljaju parcijalni učinak kvartila noći, procijenjen uz kontrolu za ostale uključene prediktore u modelu.

Za ukupnu aktivnost i vrstu *H. savii* svi parametrijski koeficijenti u modelu seta B bili su statistički značajni ($p < 0,05$). Za fonetsku skupinu *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* koeficijent za treći kvartil noći u modelu intenziteta aktivnosti nije bio statistički značajan, kao ni četvrti kvartil noći u modelu intenziteta aktivnosti fonetske skupine *P. kuhlii* / *P. nathusii* i vrste *T. teniotis*. U modelima seta A svi parametrijski koeficijenti bili su statistički značajni ($p < 0,05$).

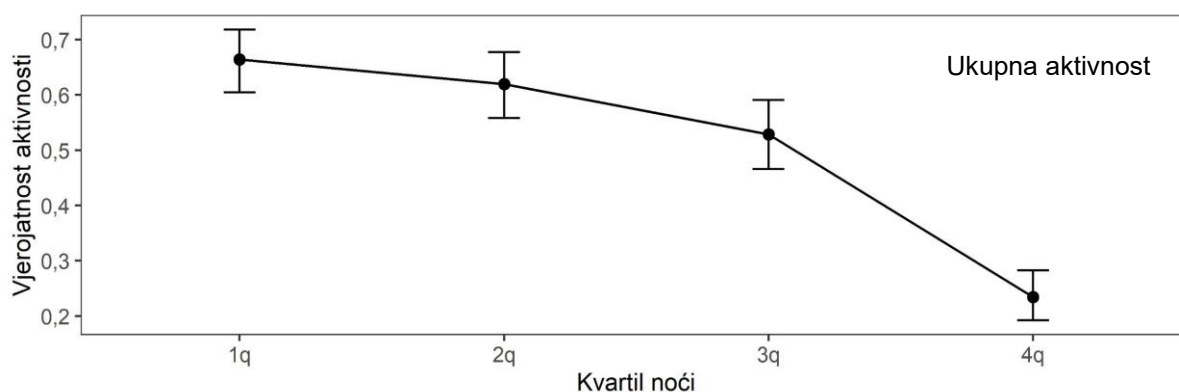
Tablica 28 Procjena parametrijskih koeficijenata kvartila noći u GAMM dvodijelnom (*hurdle*) modelu pojave i intenziteta aktivnosti šišmiša za set B (N – zbroj 5 s snimki aktivnosti šišmiša, Est – procijenjeni koeficijent modela, SE – standardna pogreška procjene koeficijenta, z / t – vrijednost testne statistike za procjenu značajnosti koeficijenta u odgovarajućim modelima (binomni za pojavu / negativno binomni za intenzitet aktivnosti), $\Pr(>|z|)$ / $\Pr(>|t|)$ – p-vrijednost testa značajnosti koeficijenta).

		Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)				Intenzitet aktivnosti (N > 0)			
		Est	SE	z	$\Pr(> z)$	Est	SE	t	$\Pr(> t)$
Ukupna aktivnost	(Intercept)	-4,223	0,386	-10,946	< 0,001	0,880	0,242	3,633	< 0,001
	Q_night2q	-0,226	0,036	-6,205	< 0,001	-0,214	0,027	-7,987	< 0,001
	Q_night3q	-0,421	0,046	-9,074	< 0,001	-0,211	0,036	-5,776	< 0,001
	Q_night4q	-1,738	0,068	-25,537	< 0,001	-0,509	0,077	-6,652	< 0,001
<i>Eptesicus</i> / <i>Nyctalus</i> / <i>Vespertilio</i>	(Intercept)	-7,579	0,671	-11,302	< 0,001	0,508	0,165	3,090	0,002
	Q_night2q	-0,504	0,118	-4,285	< 0,001	-0,110	0,043	-2,540	0,011
	Q_night3q	-0,600	0,156	-3,846	< 0,001	0,033	0,063	0,529	0,596
	Q_night4q	-1,765	0,407	-4,333	< 0,001	-0,253	0,105	-2,401	0,016
<i>Hypsugo savii</i>	(Intercept)	-13,666	1,855	-7,368	< 0,001	1,484	0,187	7,917	< 0,001
	Q_night2q	-1,047	0,132	-7,955	< 0,001	-0,646	0,066	-9,868	< 0,001
	Q_night3q	-1,861	0,428	-4,351	< 0,001	-0,816	0,076	-10,733	< 0,001
	Q_night4q	-2,663	0,353	-7,551	< 0,001	-1,030	0,117	-8,837	< 0,001
<i>Pipistrellus kuhlii</i> / <i>P. nathusii</i>	(Intercept)	-4,353	0,393	-11,087	< 0,001	0,788	0,150	5,241	< 0,001
	Q_night2q	-0,877	0,079	-11,166	< 0,001	-0,267	0,044	-6,129	< 0,001
	Q_night3q	-1,358	0,126	-10,765	< 0,001	-0,348	0,107	-3,259	0,001
	Q_night4q	-3,345	0,512	-6,534	< 0,001	-0,142	0,141	-1,008	0,314
<i>Tadarida teniotis</i>	(Intercept)	-7,015	0,656	-10,695	< 0,001	0,691	0,249	2,772	0,006
	Q_night2q	0,430	0,047	9,136	< 0,001	0,313	0,040	7,881	< 0,001
	Q_night3q	0,527	0,053	9,881	< 0,001	0,350	0,047	7,504	< 0,001
	Q_night4q	-0,964	0,080	-12,076	< 0,001	0,086	0,075	1,151	0,250

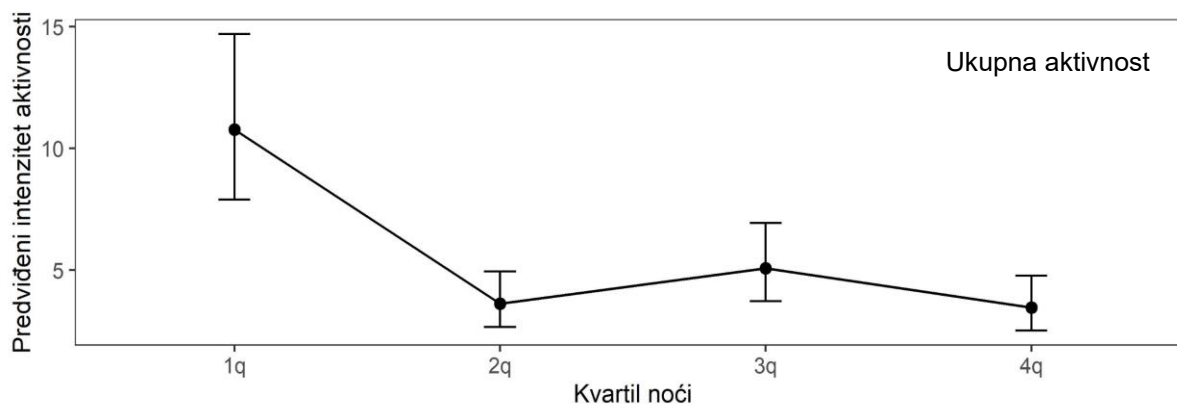
4.4.3.1 Sezonska i noćna dinamika aktivnosti

Radi lakše interpretacije procijenjenih obrazaca aktivnosti (set A), u ovom poglavlju prikazani su različiti prikazi istoga završnog GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela (Tablica 21). Učinci noćne i sezone dinamike prikazani su kao ukupni odgovor modela, pri čemu y-os prikazuje procijenjene vrijednosti modela za zadane kombinacije prediktora uz 95 %-tni interval pouzdanosti (procijenjena vjerojatnost pojave (0 – 1) ili predviđeni intenzitet aktivnosti (N/h)), uz ostale varijable zadržane na reprezentativnim (referentnim) vrijednostima.

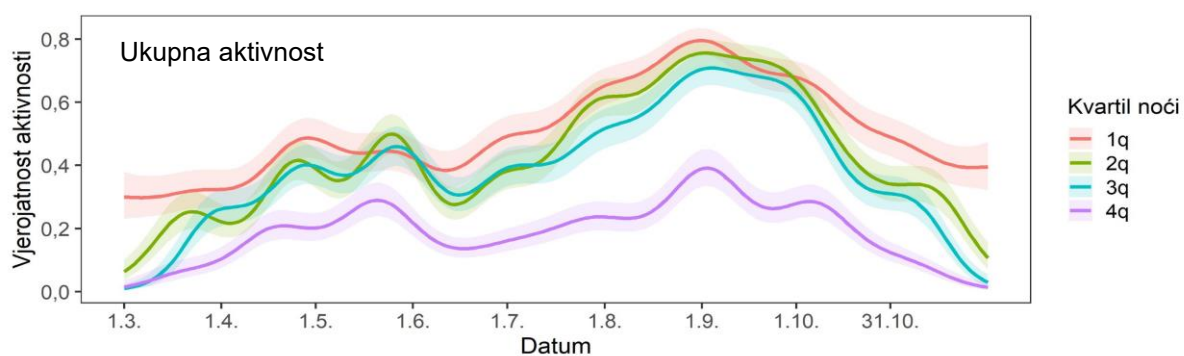
Za **ukupnu aktivnost šišmiša** procijenjeni ukupni odgovor modela seta A po kvartilima noći pokazuje postupno smanjenje vjerojatnosti pojave aktivnosti kroz noć, pogotovu u četvrtom kvartilu (Slika 36). Istovremeno uočava se znatno viši očekivani intenzitet i varijabilnost procjena za prvi u odnosu na ostale kvartile (Slika 37). Sezonska dinamika aktivnosti, procijenjena modelom seta A, pokazuje sličnu dinamiku kroz kvartile noći, uz sustavno nižu vjerojatnost pojave aktivnosti u četvrtom kvartilu (Slika 38). Objedinjeni prikaz pokazuje postupni porast vjerojatnosti pojave aktivnosti tijekom proljeća i ljeta, s maksimumom na prijelazu ljeta u jesen, nakon čega slijedi pad prema kraju sezone (Slika 39). Za razliku od vjerojatnosti pojave aktivnosti, intenzitet aktivnosti pokazuje visoku varijabilnost i nesigurnost procjena kroz sezonu i između kvartila noći (Slika 40), pogotovo u prvom kvartilu noći tijekom ljeta i rane jeseni.



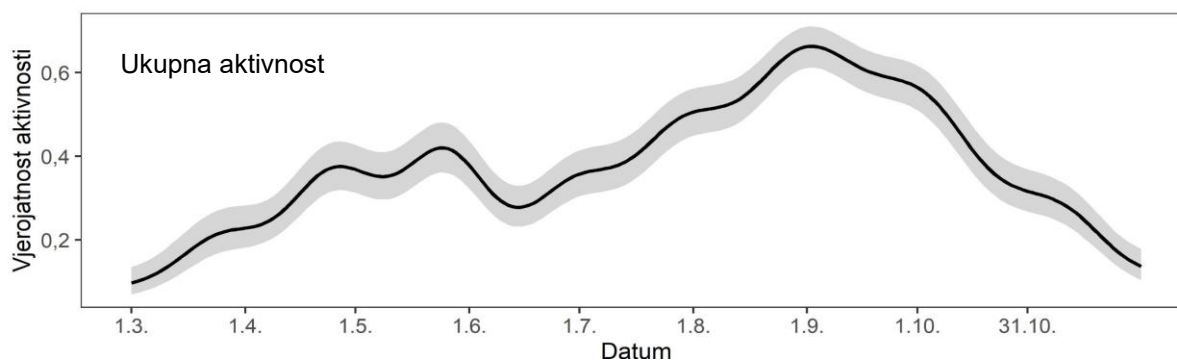
Slika 36 Procijenjena vjerojatnost pojave aktivnosti šišmiša (0 – 1) po kvartilima noći na temelju GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela (set A). Prikazani su 95 %-tni intervali pouzdanosti procjena.



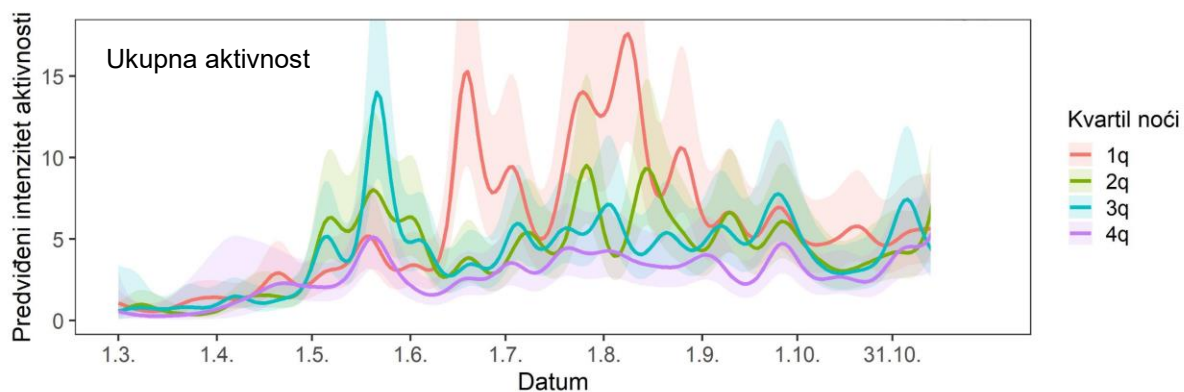
Slika 37 Predviđeni intenzitet aktivnosti šišmiša (N/h) po kvartilima noći na temelju GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela (set A). Prikazani su 95 %-tni intervali pouzdanosti procjena.



Slika 38 Procijenjena sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti šišmiša po kvartilima noći (0 – 1) prema dvodijelnom (*hurdle*) modelu (set A). Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

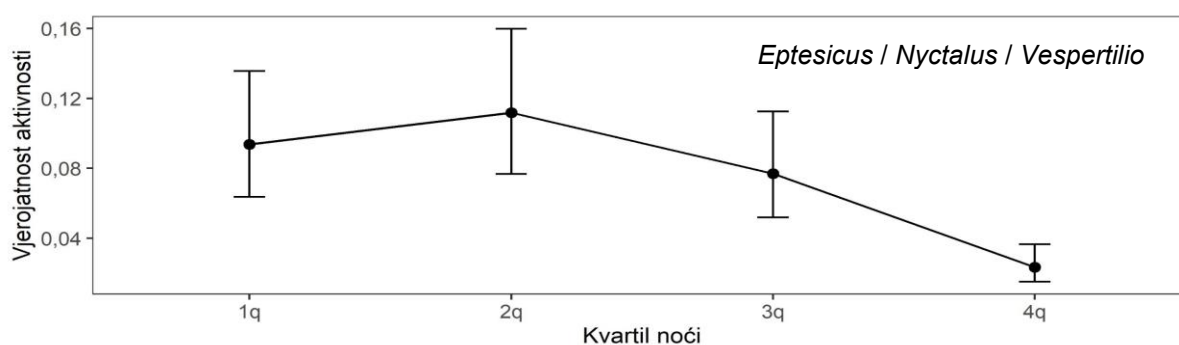


Slika 39 Procijenjena ukupna sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti šišmiša (0 – 1) prema dvodijelnom (*hurdle*) modelu (set A). Zasjenjeno područje označava prosjek 95 %-tnih intervala pouzdanosti procjena za pojedine kvartile noći.

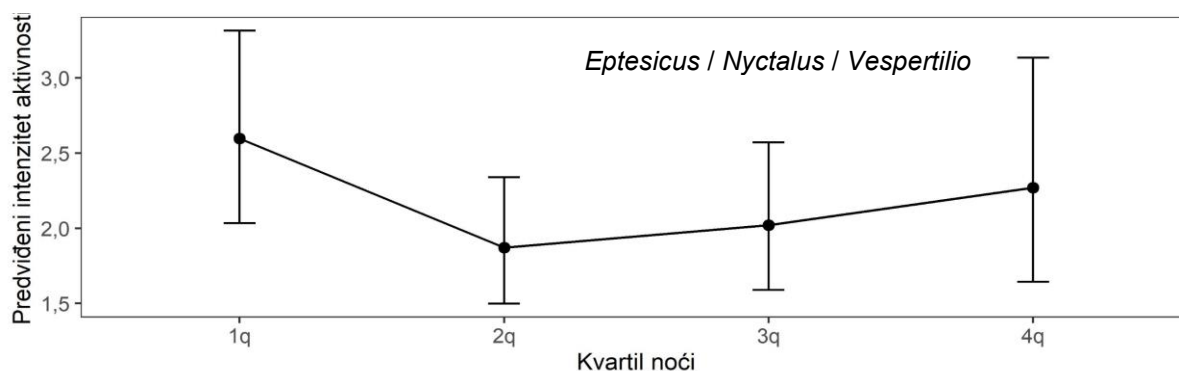


Slika 40 Predviđena sezonska dinamika intenziteta aktivnosti šišmiša (N/h) po kvartilima noći prema dvodijelnom (*hurdle*) modelu (set A). Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

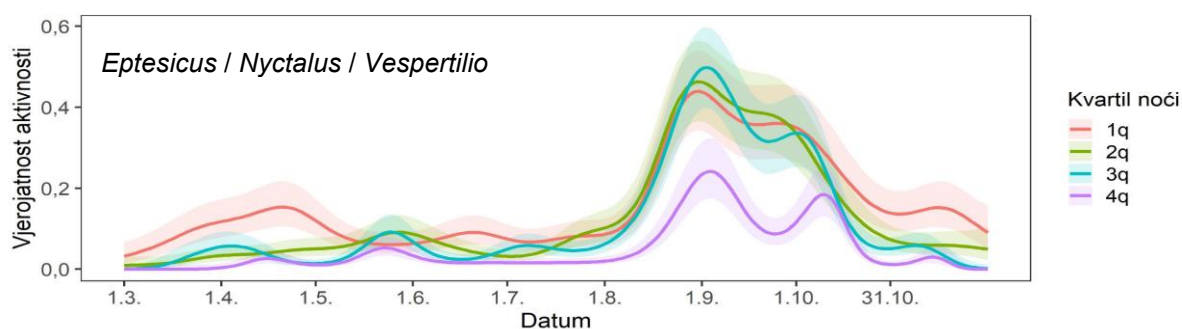
Vjerojatnost pojave aktivnosti fonetske skupine *Eptesicus / Nyctalus / Vespertilio* pokazuje sličan obrazac kao ukupna aktivnost, ali uz nešto višu vjerojatnost pojave u drugom kvartilu u odnosu na prvi (Slika 41). Intenzitet aktivnosti više odstupa od obrasca ukupne aktivnosti, uz veću varijabilnost i blagi porast prema četvrtom kvartilu (Slika 42). Na grafičkom prikazu predviđenog ukupnog odgovora modela kroz sezonu, vidljivo je da je sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti slična kroz različite kvartile, uz sustavno nižu vjerojatnost pojave u četvrtom kvartilu (Slika 43). Objedinjeni prikaz potvrđuje izraženiji i koncentriran maksimum u užem vremenskom razdoblju krajem ljeta (početak rujna), dok je proljetni porast slabije izražen (Slika 44). Sezonska dinamika intenziteta aktivnosti nije dodatno prikazana zbog izražene varijabilnosti procjena i izostanka jasnog obrasca kroz godinu.



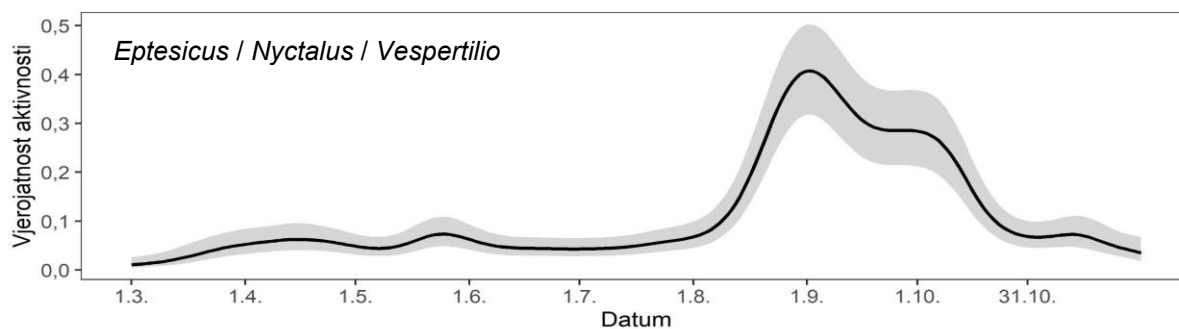
Slika 41 Procijenjena vjerojatnost pojave aktivnosti fonetske skupine *Eptesicus / Nyctalus / Vespertilio* (0 – 1) po kvartilima noći na temelju GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela (set A). Prikazani su 95 %-tni intervali pouzdanosti procjena.



Slika 42 Predviđeni intenzitet aktivnosti fonetske skupine *Eptesicus / Nyctalus / Vespertilio* (N/h) po kvartilima noći na temelju GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela (set A). Prikazani su 95 %-tni intervali pouzdanosti procjena.

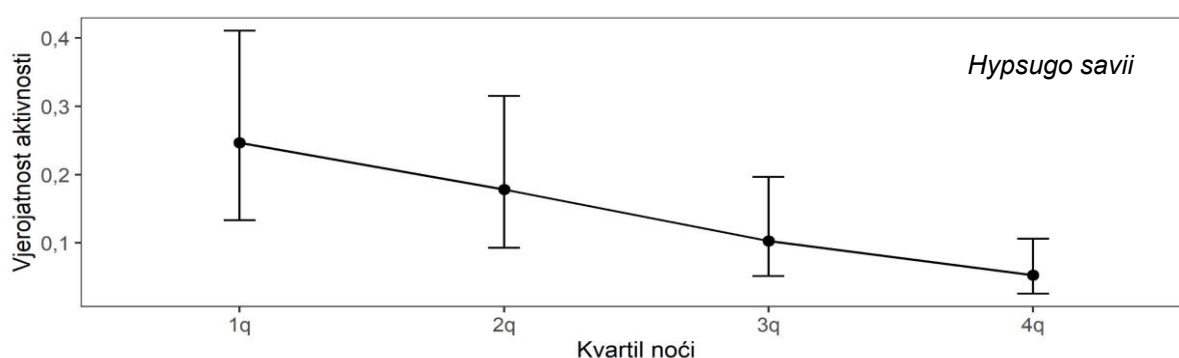


Slika 43 Procijenjena sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti fonetske skupine *Eptesicus / Nyctalus / Vespertilio* (0 – 1) po kvartilima noći prema dvodijelnom (*hurdle*) modelu (set A). Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

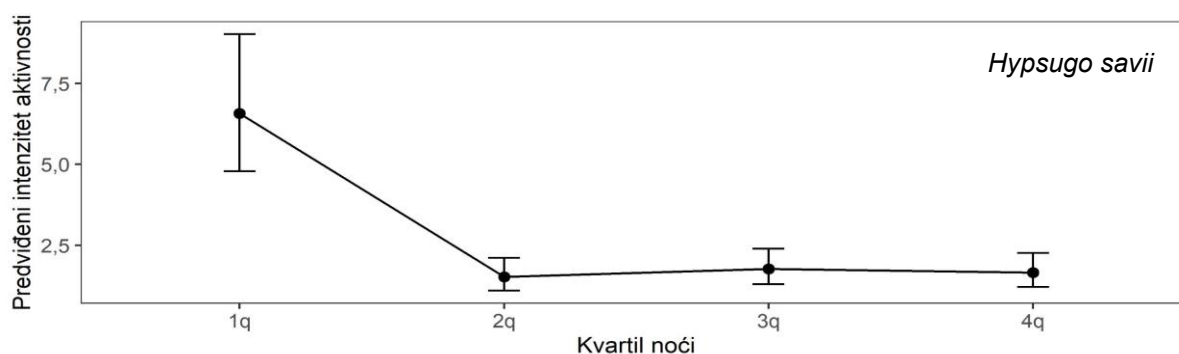


Slika 44 Procijenjena ukupna sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti fonetske skupine *Eptesicus / Nyctalus / Vespertilio* (0 – 1) prema dvodijelnom (*hurdle*) modelu (set A). Zasjenjeno područje označava predstavlja prosjek 95 %-tnih intervala pouzdanosti procjena za pojedine kvartile noći.

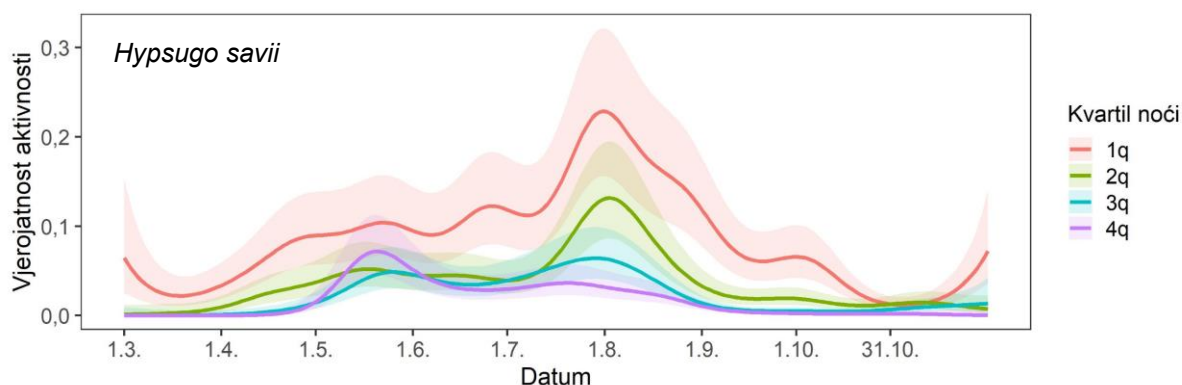
Vjerojatnost pojave aktivnosti vrste *H. savii* pokazuje sličan obrazac kao ukupna aktivnost, s postepenijim padom prema kasnijim kvartilima noći (Slika 45). Intenzitet aktivnosti odgovara ukupnom obrascu, uz najveći očekivani intenzitet i varijabilnost u prvom kvartilu noći (Slika 46). Sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti manja je razlika četvrtog u odnosu na ostale kvartile uz sličan opći obrazac kao ukupna aktivnost (Slika 47), ali s izraženim maksimumom ranije tijekom ljeta, uz veću razinu nesigurnosti procjene (Slika 48). Sezonska dinamika intenziteta aktivnosti nije dodatno prikazana zbog izražene varijabilnosti procjena i izostanka jasnog obrasca kroz godinu.



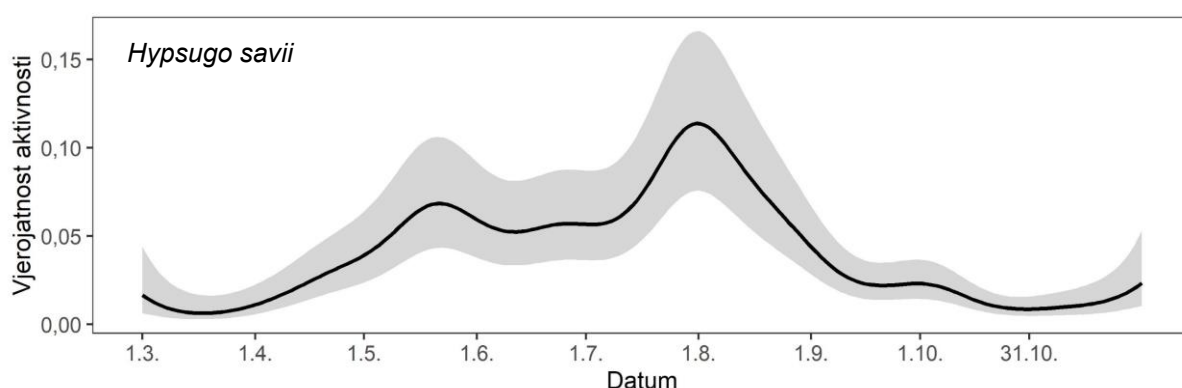
Slika 45 Procijenjena vjerojatnost pojave aktivnosti vrste *Hypsugo savii* (0 – 1) po kvartilima noći na temelju GAMM dvodijelnog (hurdle) modela (set A). Prikazani su 95 %-tni intervali pouzdanosti procjena.



Slika 46 Predviđeni intenzitet aktivnosti vrste *Hypsugo savii* (N/h) po kvartilima noći na temelju GAMM dvodijelnog (hurdle) modela (set A). Prikazani su 95 %-tni intervali pouzdanosti procjena.

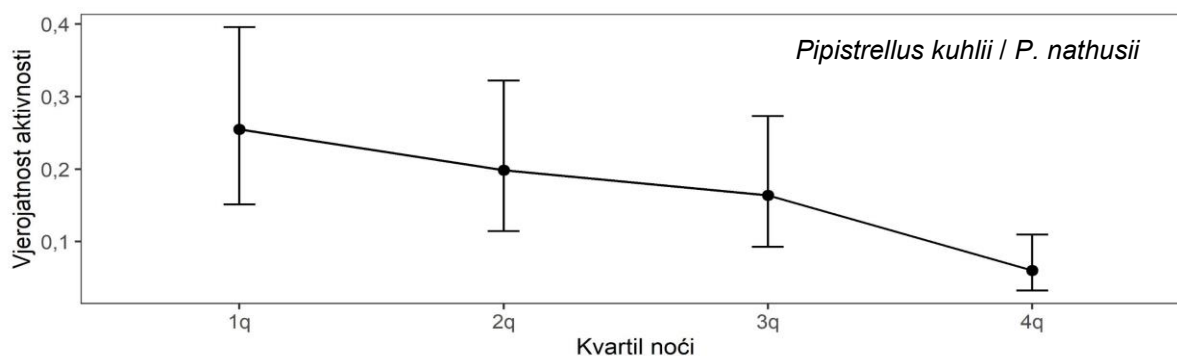


Slika 47 Procijenjena sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti vrste *Hypsugo savii* (0 – 1) po kvartilima noći prema dvodijelnom (*hurdle*) modelu (set A). Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

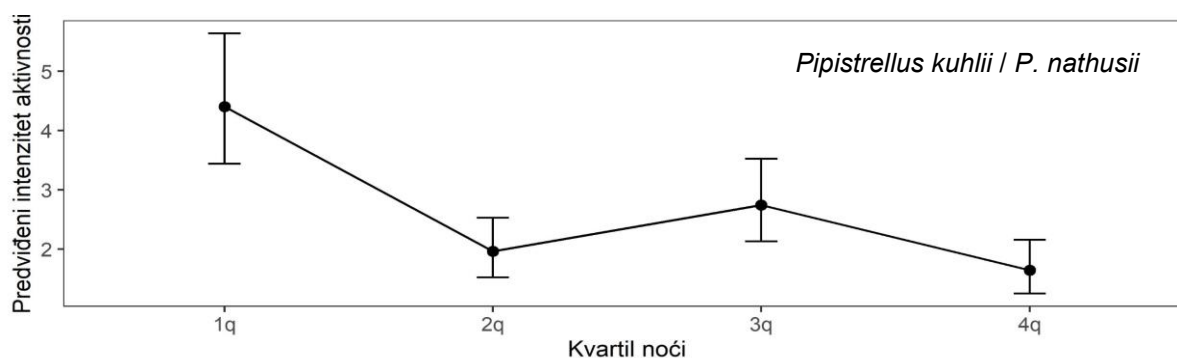


Slika 48 Procijenjena ukupna sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti vrste *Hypsugo savii* (0 – 1) prema dvodijelnom (*hurdle*) modelu (set A). Zasjenjeno područje označava predstavlja prosjek 95 %-tnih intervala pouzdanosti procjena za pojedine kvartile noći.

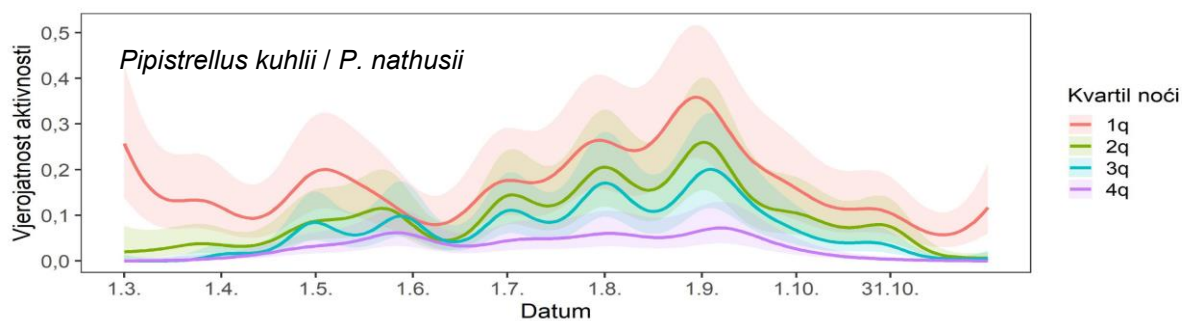
Vjerojatnost pojave aktivnosti fonetske skupine *P. kuhlii* / *P. nathusii* pokazuje postepeniji pad prema kasnijim kvartilima noći (Slika 49), dok intenzitet aktivnosti pokazuje veću varijabilnost i blagi porast u trećem kvartilu (Slika 50). Sezonska dinamika pojave aktivnosti u odnosu na opći obrazac ukupne aktivnosti šišmiša pokazuje veći broj lokalnih maksimuma tijekom sezone te dulje razdoblje veće vjerojatnosti pojave aktivnosti (Slika 51, Slika 52). Intenzitet aktivnosti pokazuje umjerenije i stabilnije obrasce kroz sezonu, s manje izraženim ekstremnim vrijednostima kakve su uočene kod općeg obrasca (Slika 53). Umjesto dominantnih pojedinačnih maksimuma, više je umjerenih vrhova raspoređenih kroz različita razdoblja, što upućuje na kontinuiraniju i stabilniju aktivnost kroz godinu, uz veće nesigurnosti procjena u proljeće i jesen zbog pojedinih noći s većim intenzitetom aktivnosti u navedenim razdobljima.



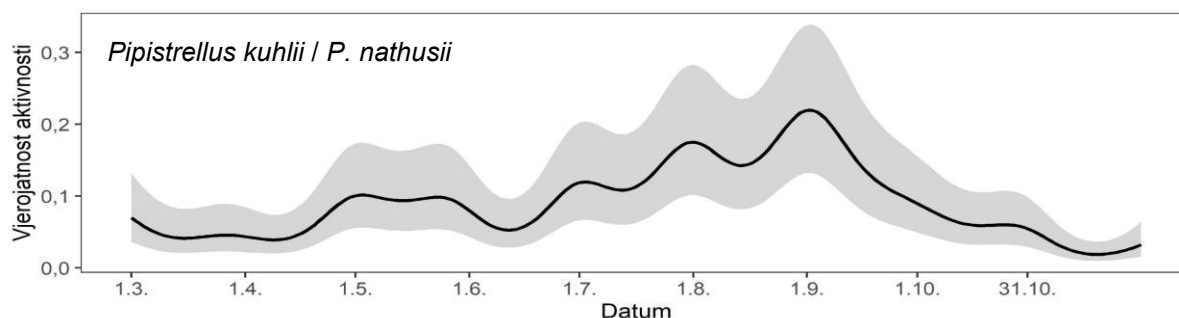
Slika 49 Procijenjena vjerojatnost pojave aktivnosti vrste *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii* (0 – 1) po kvartilima noći na temelju GAMM dvodijelnog (hurdle) modela (set A). Prikazani su 95 %-tni intervali pouzdanosti procjena.



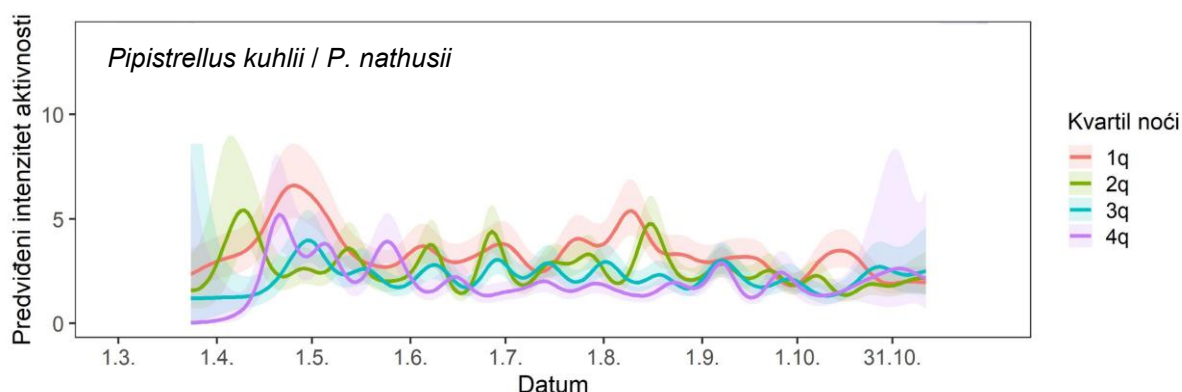
Slika 50 Predviđeni intenzitet aktivnosti fonetske skupine *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii* (N/h) po kvartilima noći na temelju GAMM dvodijelnog (hurdle) modela (set A). Prikazani su 95 %-tni intervali pouzdanosti procjena.



Slika 51 Procijenjena sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti fonetske skupine *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii* (0 – 1) po kvartilima noći prema dvodijelnom (hurdle) modelu (set A). Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

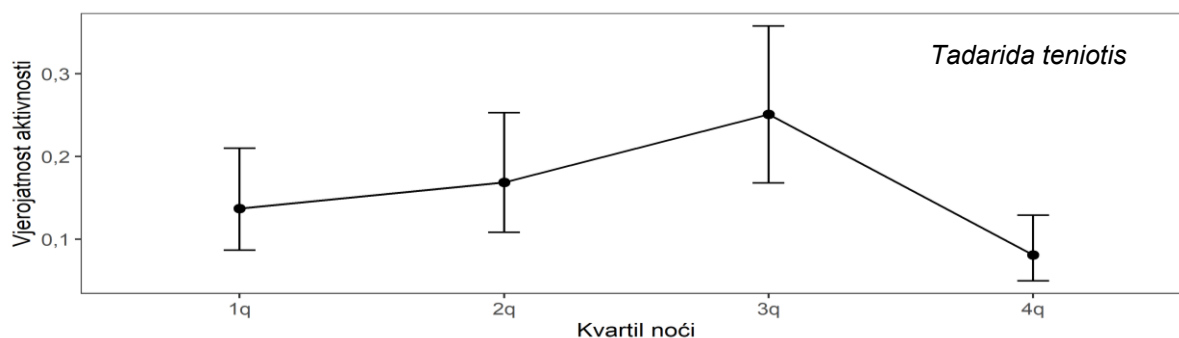


Slika 52 Procijenjena ukupna sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti fonetske skupine *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii* (0 – 1) prema dvodijelnom (*hurdle*) modelu (set A). Zasjenjeno područje označava predstavlja prosjek 95 %-tnih intervala pouzdanosti procjena za pojedine kvartile noći.

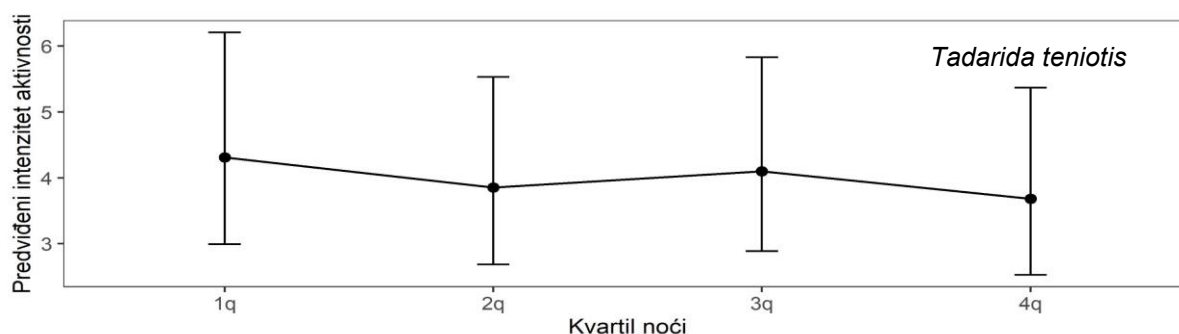


Slika 53 Predviđena sezonska dinamika intenziteta aktivnosti fonetske skupine *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii* (N/h) po kvartilima noći prema dvodijelnom (*hurdle*) modelu (set A). Zasjenjena područja označavaju 95 %-tne intervale pouzdanosti procjena.

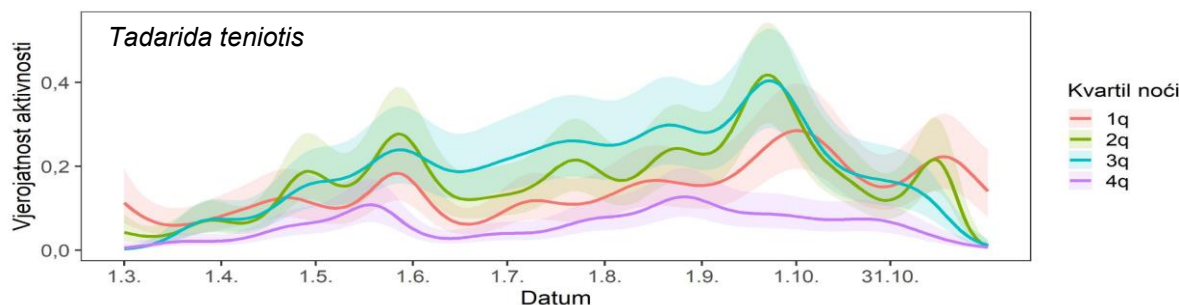
Vjerojatnost pojave aktivnosti vrste ***T. teniotis*** pokazuje nešto višu vjerojatnost pojave u trećem kvartilu noći (Slika 54). Intenzitet aktivnosti više odstupa od općeg obrasca ukupne aktivnosti šišmiša, bez jasnog negativnog trenda kroz noć (Slika 55). Sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti slična je kroz različite kvartile, uz sustavno nižu vjerojatnost od prvog prema četvrtom kvartilu (Slika 56), ali se može uočiti drugačiji obrazac kroz godinu, s izraženim maksimumima u kasno proljeće i ranu jesen, u usporedbi s općim obrascem sezonske dinamike ukupne aktivnosti šišmiša (Slika 57). Sezonska dinamika intenziteta aktivnosti nije dodatno prikazana zbog izražene varijabilnosti procjena i izostanka jasnog obrasca kroz godinu.



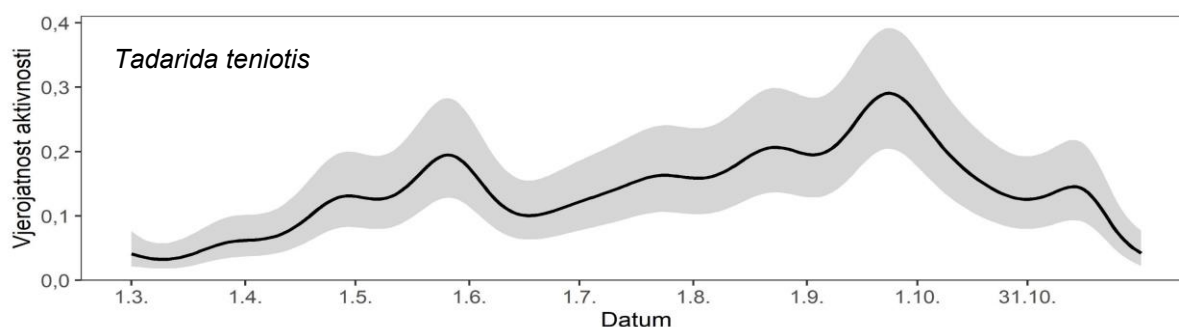
Slika 54 Procijenjena vjerojatnost pojave aktivnosti vrste *Tadarida teniotis* (0 – 1) po kvartilima noći na temelju GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela (set A). Prikazani su 95 %-tni intervali pouzdanosti procjena.



Slika 55 Predviđeni intenzitet aktivnosti vrste *Tadarida teniotis* (N/h) po kvartilima noći na temelju GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela (set A). Prikazani su 95 %-tni intervali pouzdanosti procjena.



Slika 56 Procijenjena sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti vrste *Tadarida teniotis* (0 – 1) po kvartilima noći prema dvodijelnom (*hurdle*) modelu (set A). Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.



Slika 57 Procijenjena ukupna sezonska dinamika vjerojatnosti pojave aktivnosti vrste *Tadarida teniotis* (0 – 1) prema dvodijelnom (*hurdle*) modelu (set A). Zasjenjeno područje označava predstavlja prosjek 95 %-tnih intervala pouzdanosti procjena za pojedine kvartile noći.

4.4.3.2 Parcijalni učinak mikroklimatskih prediktora i relativne mjesečine

Radi jasnijeg prikaza njihovog izoliranog učinka, odnosi između aktivnosti šišmiša, relativne mjesečine i mikroklimatskih prediktora prikazani su grafovima parcijalnih učinaka (eng. *partial effects*) glatkih funkcija, uz 95 %-tni interval pouzdanosti procijenjenih funkcija u modelima pojave i intenziteta aktivnosti. Oznake na x-osi prikazuju raspon opaženih vrijednosti pojedinog prediktora, dok vrijednosti na y-osi prikazuju procijenjeni doprinos pojedinog prediktora na transformiranoj skali modela (log/logit), uz sve ostale prediktore zadržane na referentnim (centriranim) vrijednostima. Vrijednost 0 označava odsutnost parcijalnog doprinosa prediktora u odnosu na prosječnu vrijednost modela, dok pozitivne i negativne vrijednosti označavaju povećanje odnosno smanjenje predviđene aktivnosti u odnosu na prosjek. Skale y-osi razlikuju se među grafovima radi jasnijeg prikaza oblika parcijalnih učinaka. Za ukupnu aktivnost učinci su prikazani odvojeno za set A (Slika 58) i set B (Slika 59, Slika 60).

Parcijalni učinak **temperature zraka** pokazuje pozitivan odnos s pojavom i intenzitetom aktivnosti, pri čemu je porast izraženiji za vjerojatnost pojave aktivnosti. S druge strane, veća varijabilnost temperature unutar promatranog intervala povezana je sa smanjenjem vjerojatnosti pojave i intenziteta aktivnosti. Učinak temperature bio je usporediv u modelima seta A i seta B.

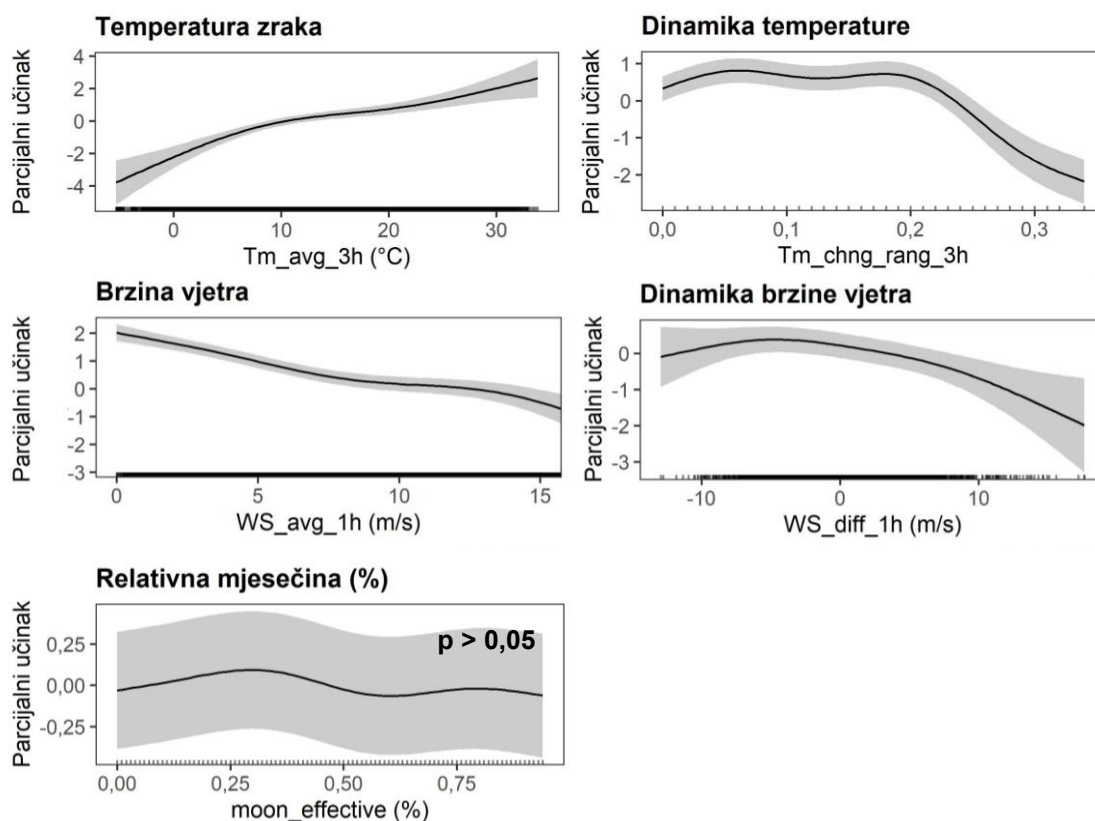
Brzina vjetra pokazuje negativan odnos s vjerojatnošću pojave i intenzitetom aktivnosti šišmiša. Veće promjene brzine vjetra, neovisno o smjeru, povezane su s blagim smanjenjem vjerojatnosti pojave aktivnosti. Suprotno tome, intenzitet aktivnosti pokazuje nelinearan, približno U-oblik odnosa, pri čemu su više vrijednosti intenziteta povezane s izraženijim promjenama brzine vjetra. Sličan obrazac prisutan je i u modelu seta A, što upućuje na to da dinamika promjene vjetra može predstavljati dodatni čimbenik u oblikovanju aktivnosti, ali oblik krivulje dijelom može biti i rezultat nesigurnosti procjena pri ekstremnijim vrijednostima.

Odnos između **relativne vlažnosti zraka** i aktivnosti šišmiša pokazuje blag nelinearan obrazac. Uočava se blagi pozitivan odnos s vjerojatnošću pojave aktivnosti pri srednjim do višim vrijednostima vlažnosti te s intenzitetom aktivnosti pri višim vrijednostima. Nasuprot tome, veće promjene relativne vlažnosti povezane su s postupnim smanjenjem vjerojatnosti pojave i intenziteta aktivnosti.

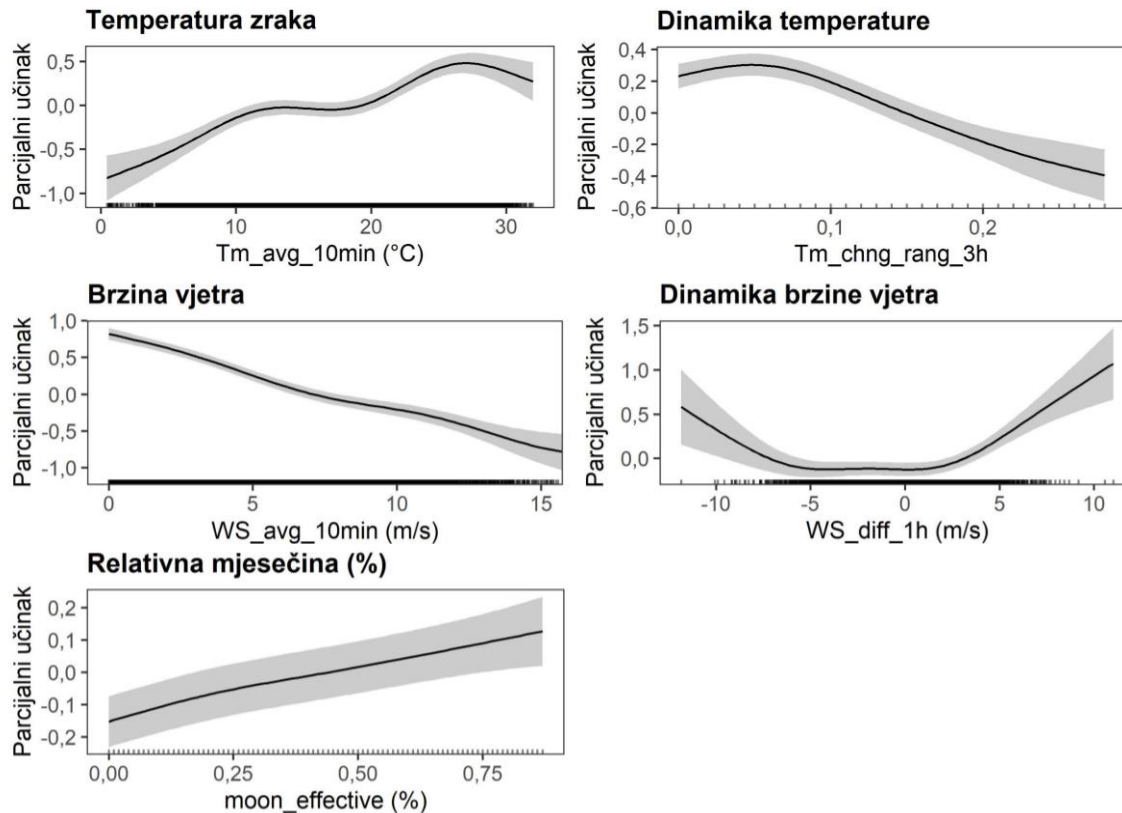
Kod modela vjerojatnosti pojave aktivnosti vidljiv je izražen negativan parcijalni učinak pri niskim vrijednostima anomalije **atmosferskog tlaka** (Ba_anom), uz naglo povećanje vjerojatnosti aktivnosti u rasponu približno od -15 do +5 hPa, nakon čega se učinak stabilizira. Intenzitet aktivnosti, s druge strane, pokazuje blagi negativni trend s porastom anomalije tlaka. Promjena atmosferskog tlaka dodatno upućuje na to da je veća vjerojatnost pojave aktivnosti povezana s izraženijim padom tlaka (Ba_diff), dok je veći intenzitet aktivnosti povezan s većom varijabilnošću tlaka (Ba_chng_rang).

Relativna mjesečina ne pokazuje izražen parcijalni učinak s vjerojatnošću pojave aktivnosti šišmiša u modelima seta A i B. U modelu intenziteta aktivnosti seta A uočava se slab pozitivan odnos, no njegov doprinos ostaje relativno malen u usporedbi s ostalim mikroklimatskim prediktorima. U modelu intenziteta aktivnosti za set B taj je učinak još slabiji, uz tek blago povećanje pri srednjim vrijednostima.

Pojava aktivnosti – Set A

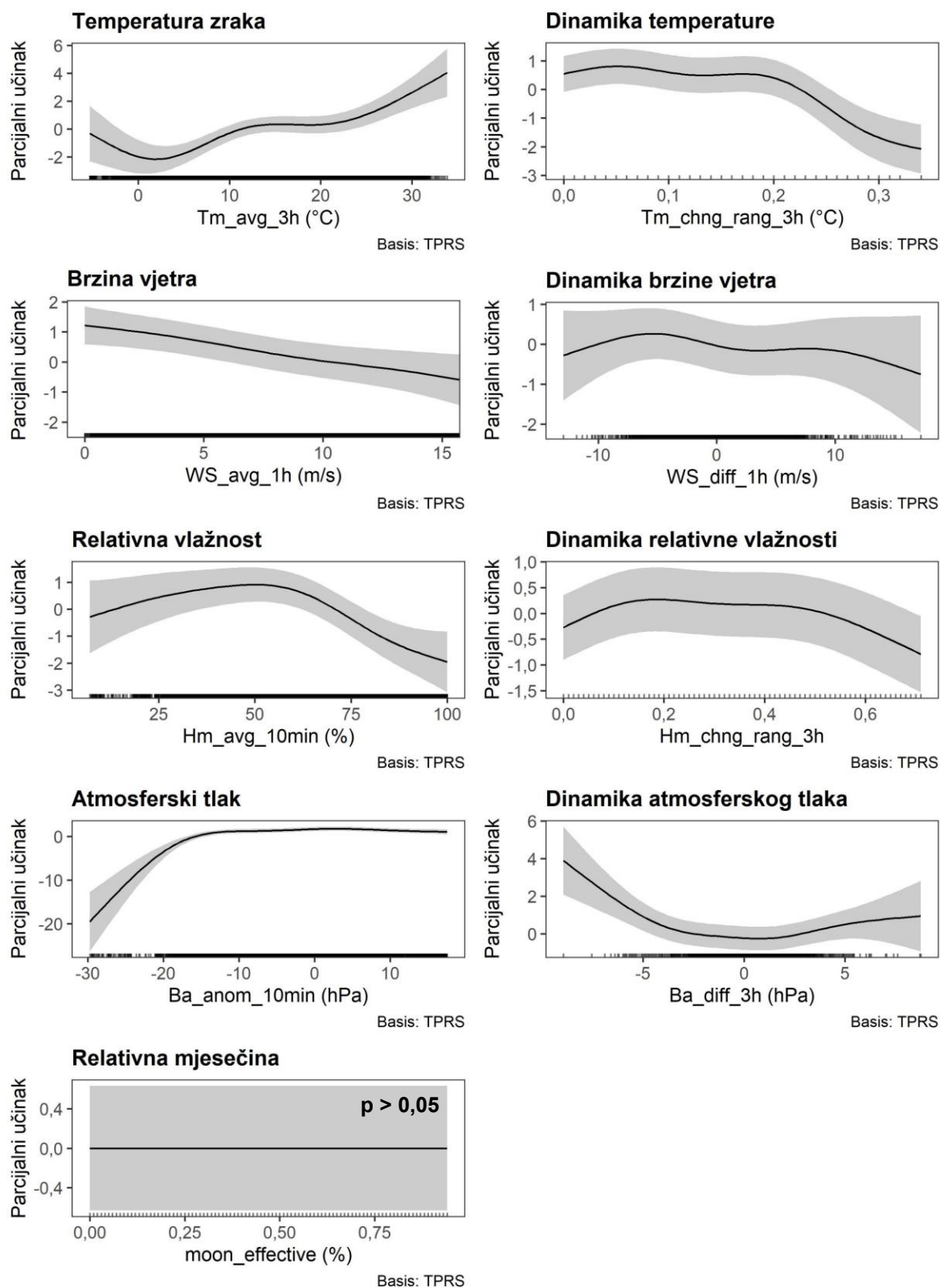


Intenzitet aktivnosti – Set A



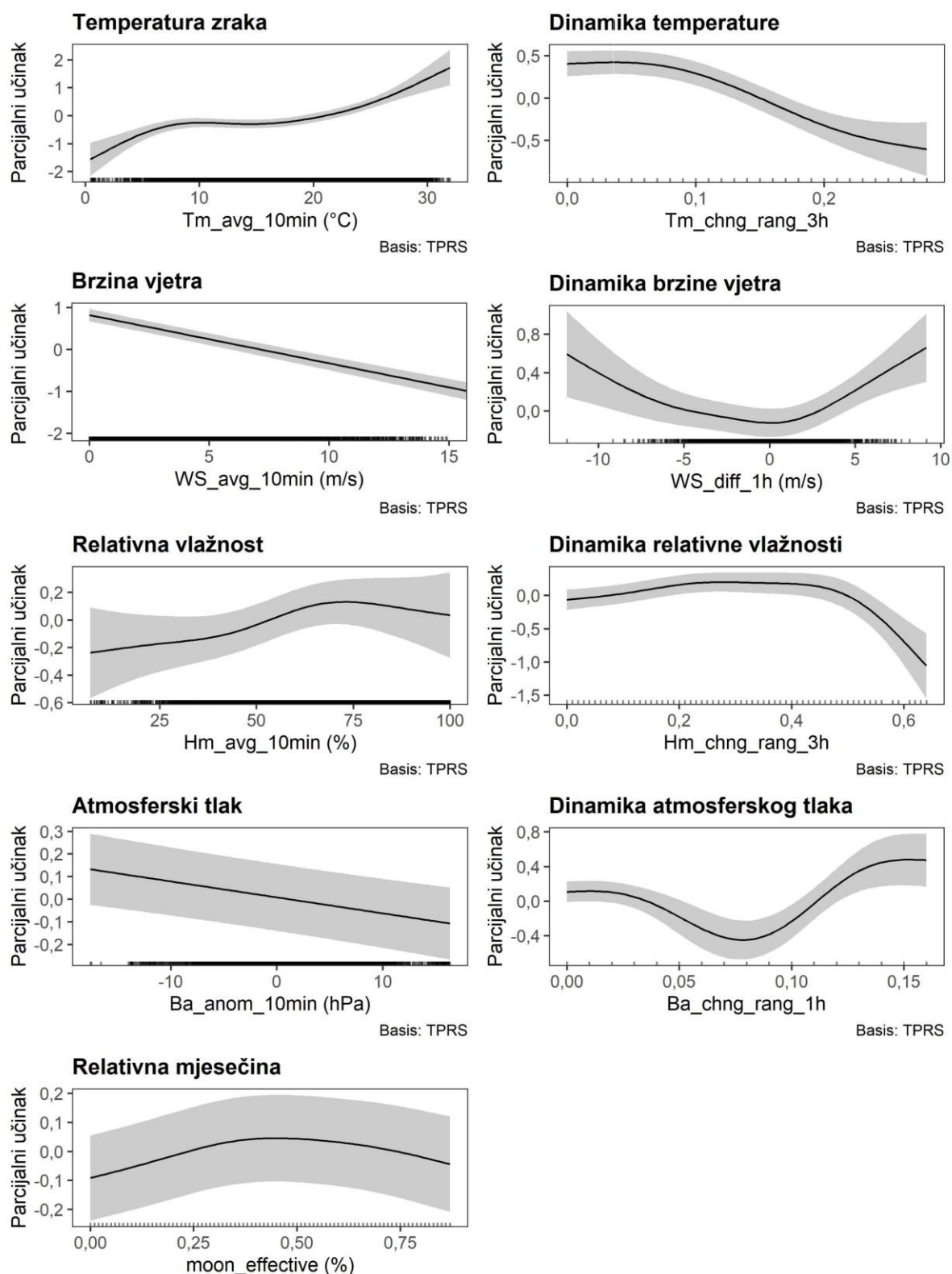
Slika 58 Parcijalni učinci glatkih funkcija GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela za **pojavu / intenzitet aktivnosti (set A)**. Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

Pojava aktivnosti – set B



Slika 59 Parcijalni učinci glatkih funkcija GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela za **pojavu aktivnosti (set B)**. Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

Intenzitet aktivnosti – set B



Slika 60 Parcijalni učinci glatkih funkcija GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela za **intenzitet aktivnosti (set B)**. Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

U nastavku teksta prikazani su grafovi parcijalnih učinaka prosječne vrijednosti i dinamike temperature zraka i brzine vjetra za set B, zasebno za svaku vrstu / fonetsku skupinu, grupirani po tipu prediktora. Isti grafovi za set A za usporedbu prikazani su u Prilogu 8.

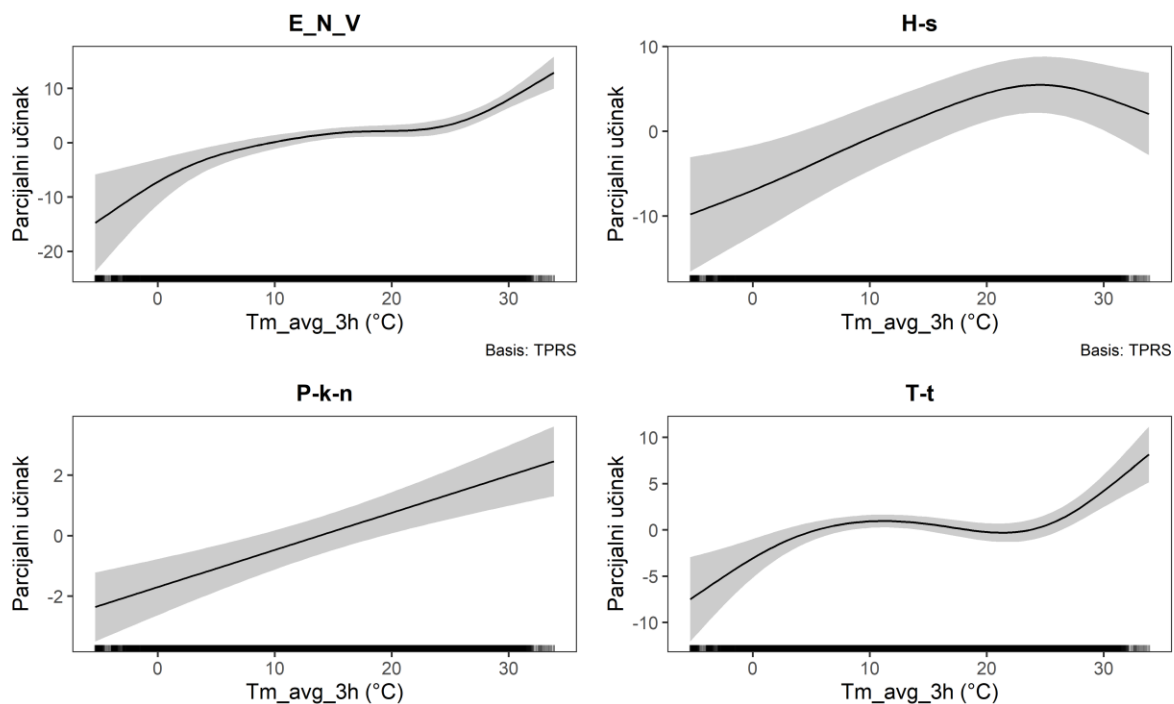
Parcijalni učinak **temperature zraka** za set B (Slika 61) pokazuje konzistentan pozitivan odnos s pojavom aktivnosti kod svih analiziranih vrsta / skupina. Kod intenziteta aktivnosti učinak temperature je slabiji i varijabilniji među vrstama, pri čemu skupine *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* i *P. kuhlii* / *P. nathusii* pokazuju jasniji pozitivan odnos s porastom temperature, potvrđen i na setu A.

Parcijalni učinak promjene kao **varijabilnosti temperature zraka** za set B (Slika 62) pokazuje uglavnom negativan odnos s pojavom aktivnosti, najizraženiji kod skupina *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* i *T. teniotis* pri većim vrijednostima varijabilnosti. Kod *H. savii* i *P. kuhlii* / *P. nathusii* učinak je slabiji i nesigurniji. Usporedba s modelom seta A (Prilog 8) pokazuje da su učinci varijabilnosti temperature obrasci sličnog smjera, ali ostaju nelinearni i djelomično nestabilni, osobito pri višim vrijednostima gdje je prisutna veća nesigurnost.

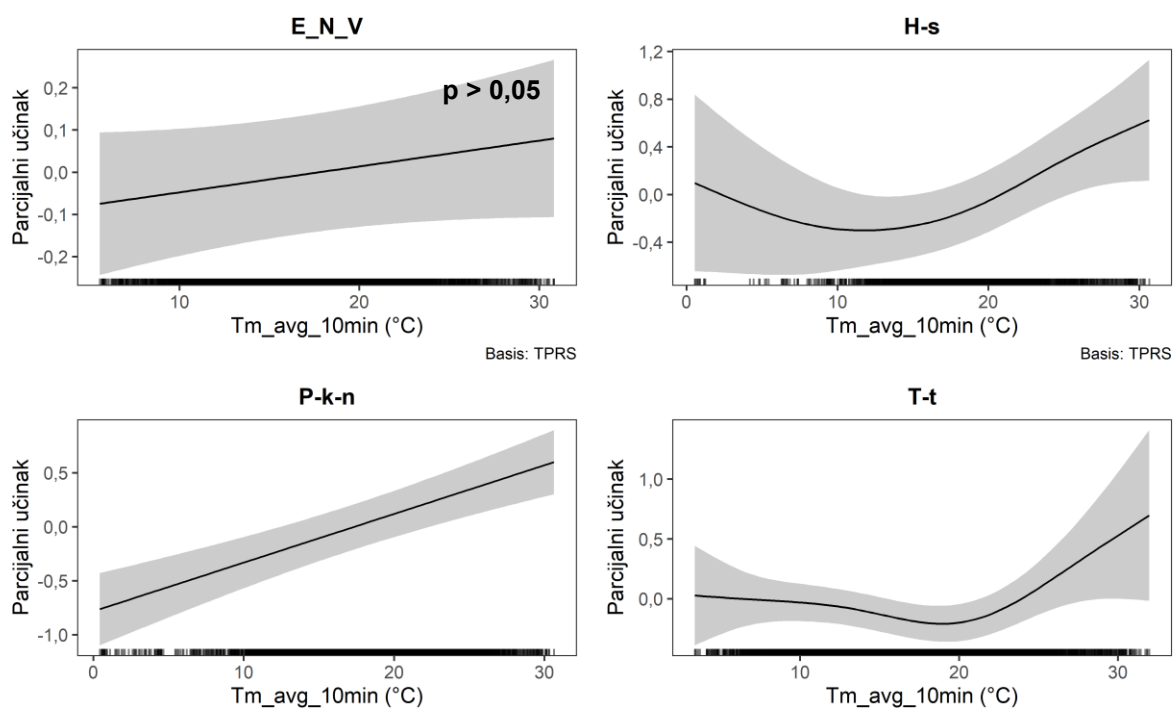
Parcijalni učinak **brzine vjetra** za set B (Slika 63) pokazuje konzistentan negativan odnos s pojavom i intenzitetom aktivnosti kod svih analiziranih vrsta / skupina, izuzev kod skupine *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* gdje je učinak slabiji i nesigurniji. Ipak, jasan negativan učinak za sve vrste i skupine potvrđen je na većem skupu podataka (A set) (Prilog 8).

Parcijalni učinak **intenziteta i smjera promjene brzine vjetra** za set B (Slika 64) pokazuje slab i nelinearan odnos s pojavom aktivnosti po vrstama i fonetskim skupinama te visoku nesigurnost. Kod intenziteta aktivnosti uočava se U-oblik za *H. savii* i *P. kuhlii* / *P. nathusii*. Usporedba sa setom A (Prilog 8) ukazuje na jasniji obrazac smanjene vjerojatnosti pojave aktivnosti prema porastu brzine vjetra. Za intenzitet aktivnosti uočava se jasniji U-oblik kod svih osim vrste *T. teniotis*.

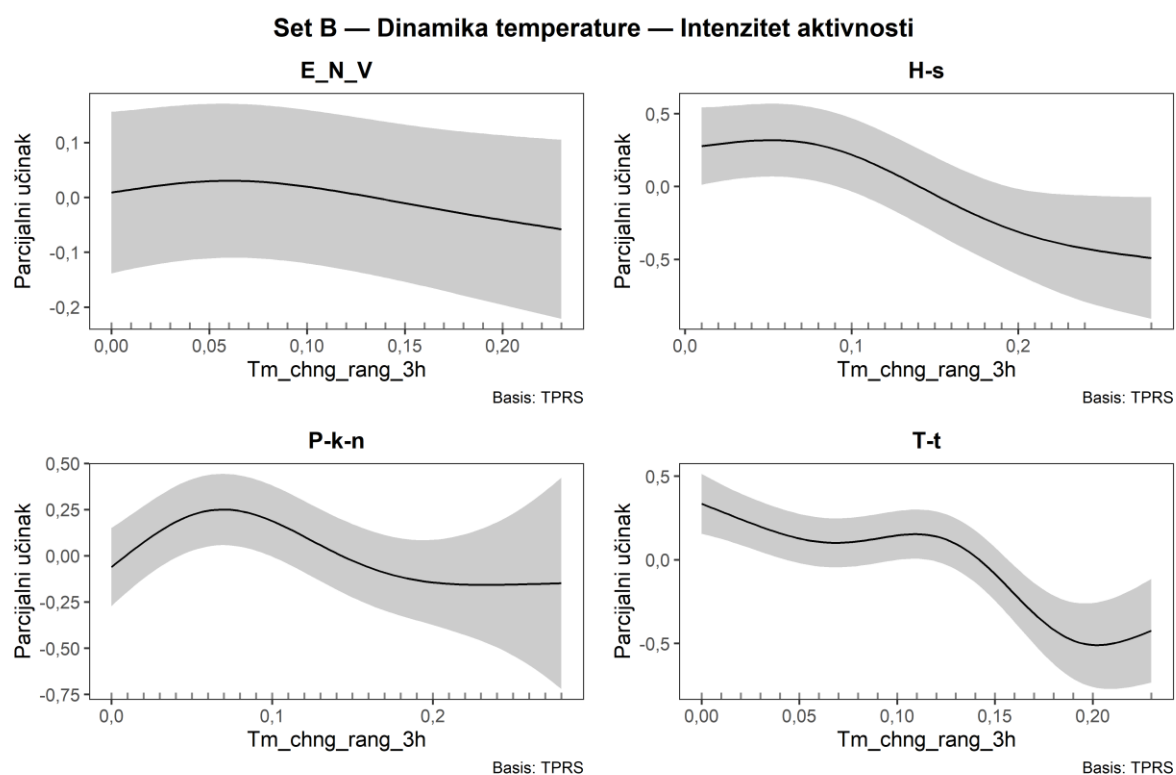
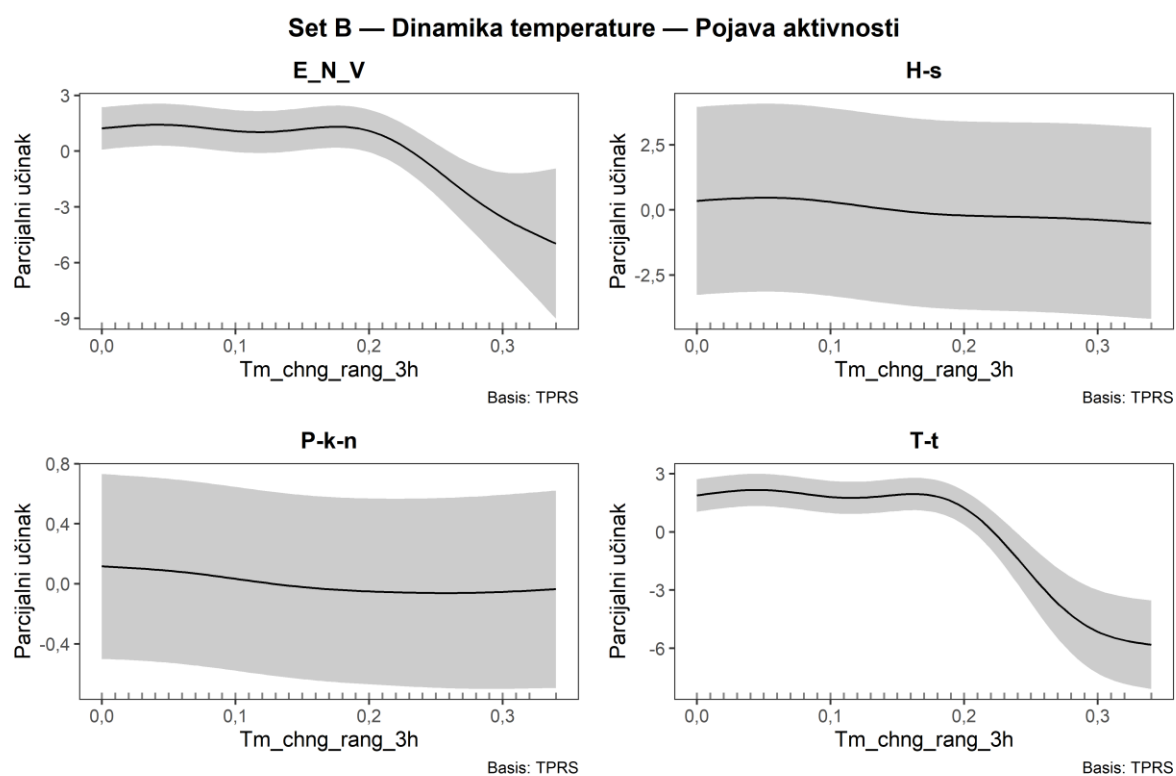
Set B — Temperatura zraka — Pojava aktivnosti



Set B — Temperatura zraka — Intenzitet aktivnosti

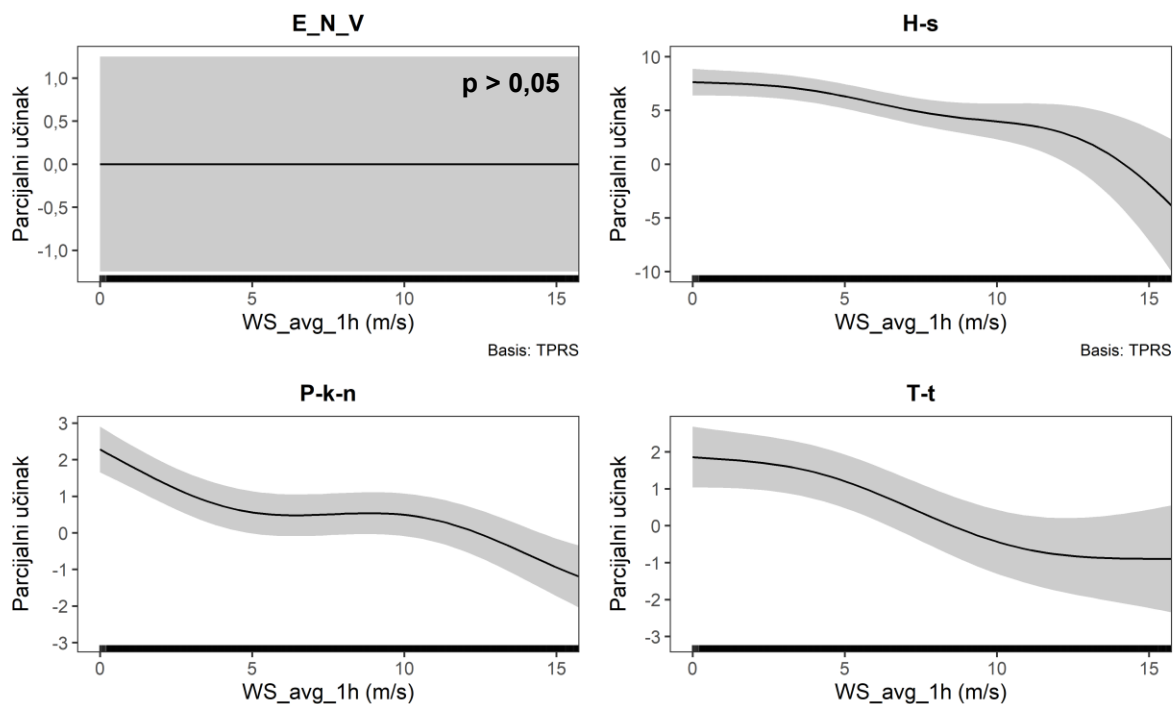


Slika 61 Parcijalni učinak glatke funkcije **temperature zraka** (Tm_avg) GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela **za pojavu i intenzitet aktivnosti (set B)**. Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

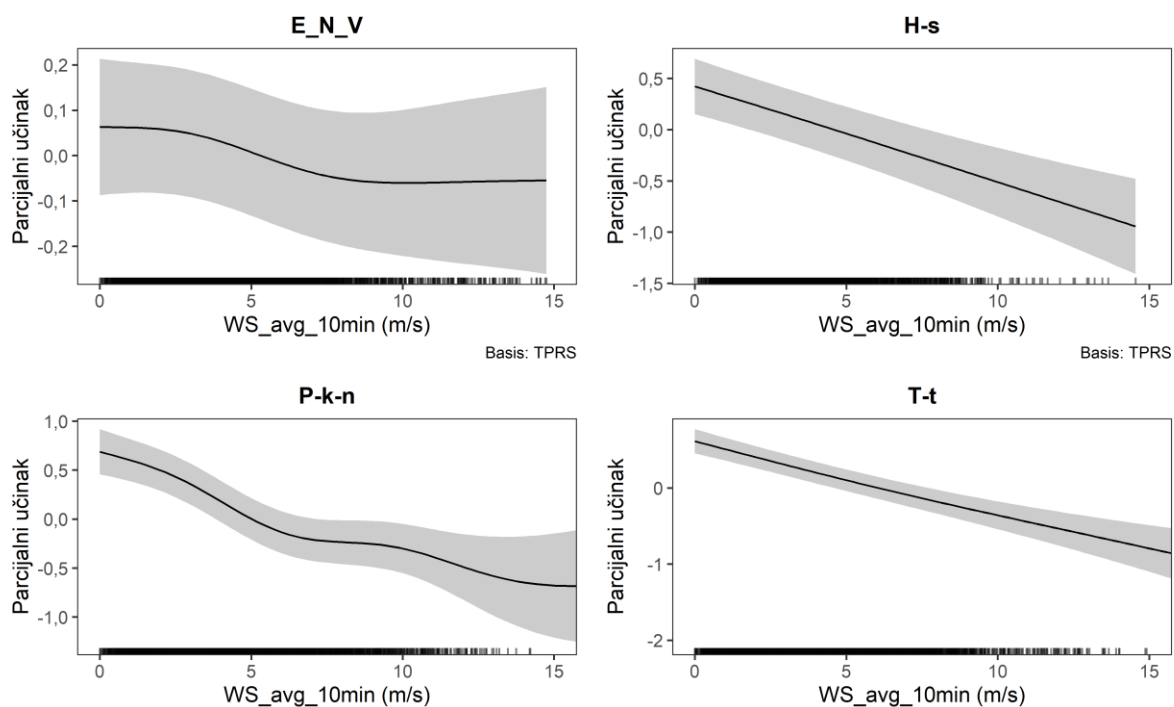


Slika 62 Parcijalni učinak glatke funkcije **varijabilnosti temperature zraka** (Tm_chng_rang) GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela **za pojavu i intenzitet aktivnosti (set B)**. Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

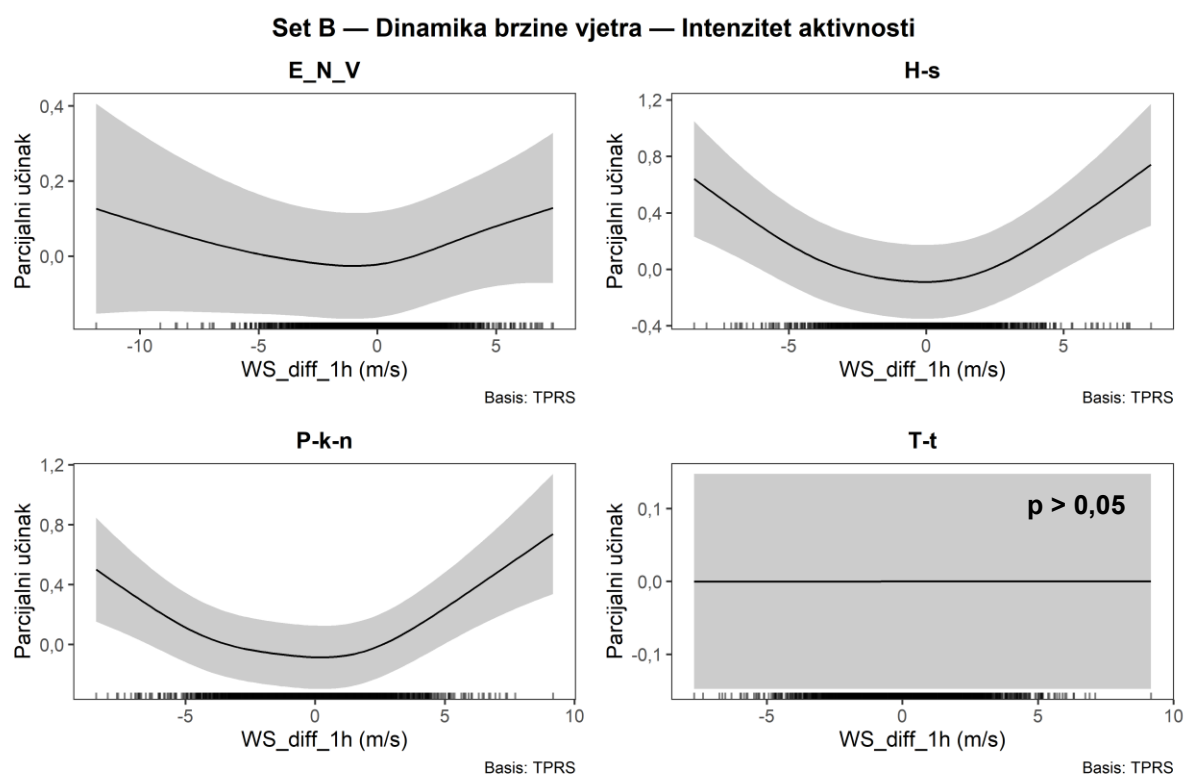
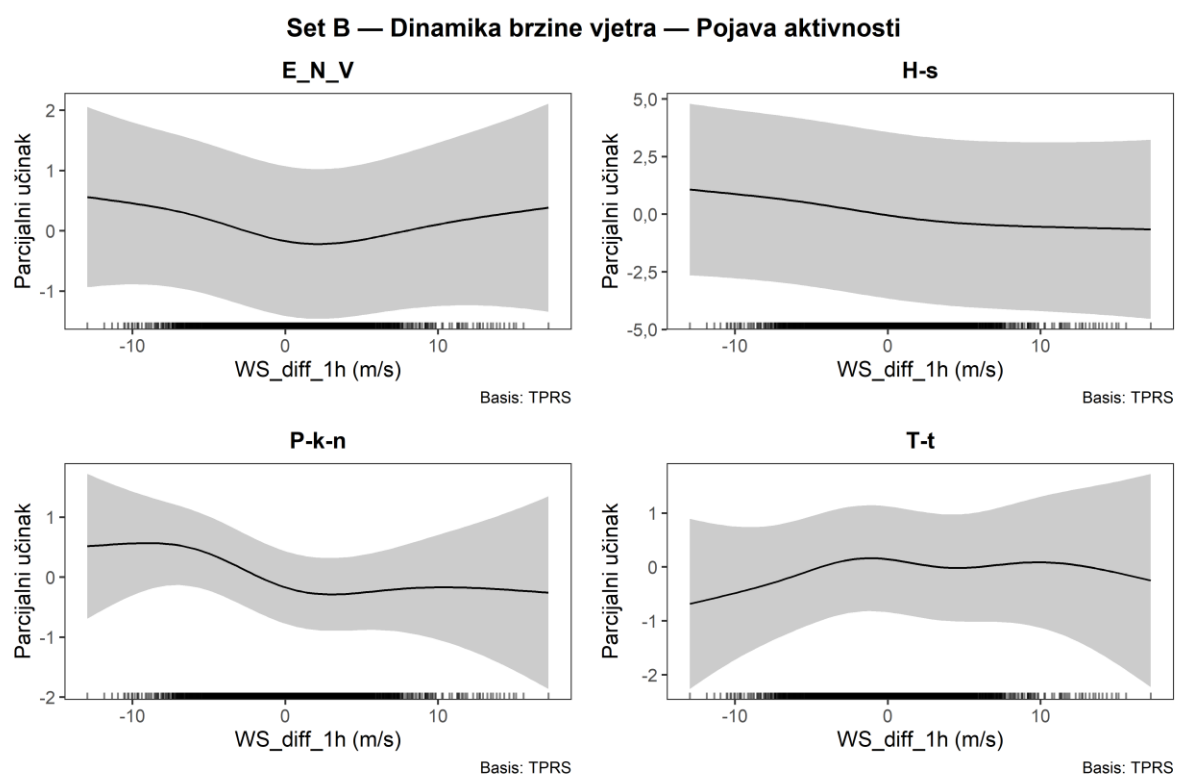
Set B — Brzina vjetra — Pojava aktivnosti



Set B — Brzina vjetra — Intenzitet aktivnosti



Slika 63 Parcijalni učinak glatke funkcije **brzine vjetra** (WS_avg) GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela **za pojavu i intenzitet aktivnosti (set B)**. Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.



Slika 64 Parcijalni učinak glatke funkcije **promjene brzine vjetra** (WS_diff) GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela **za pojavu i intenzitet aktivnosti (set B)**. Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

U nastavku teksta prikazani su grafovi parcijalnih učinaka osnovnih vrijednosti i dinamike relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka za set B, zasebno za svaku vrstu / fonetsku skupinu, grupirani po tipu prediktora.

Za parcijalni učinak **relativne vlažnosti zraka** (Slika 65) kod *H. savii* i *P. kuhlii* / *P. nathusii* uočava se veća vjerojatnost aktivnosti pri srednjim vrijednostima vlažnosti. Za intenzitet aktivnosti *H. savii* i *T. teniotis* pokazuju blagi porast pri višim vrijednostima vlažnosti, dok ostale skupine pokazuju slab ili blago negativan odnos.

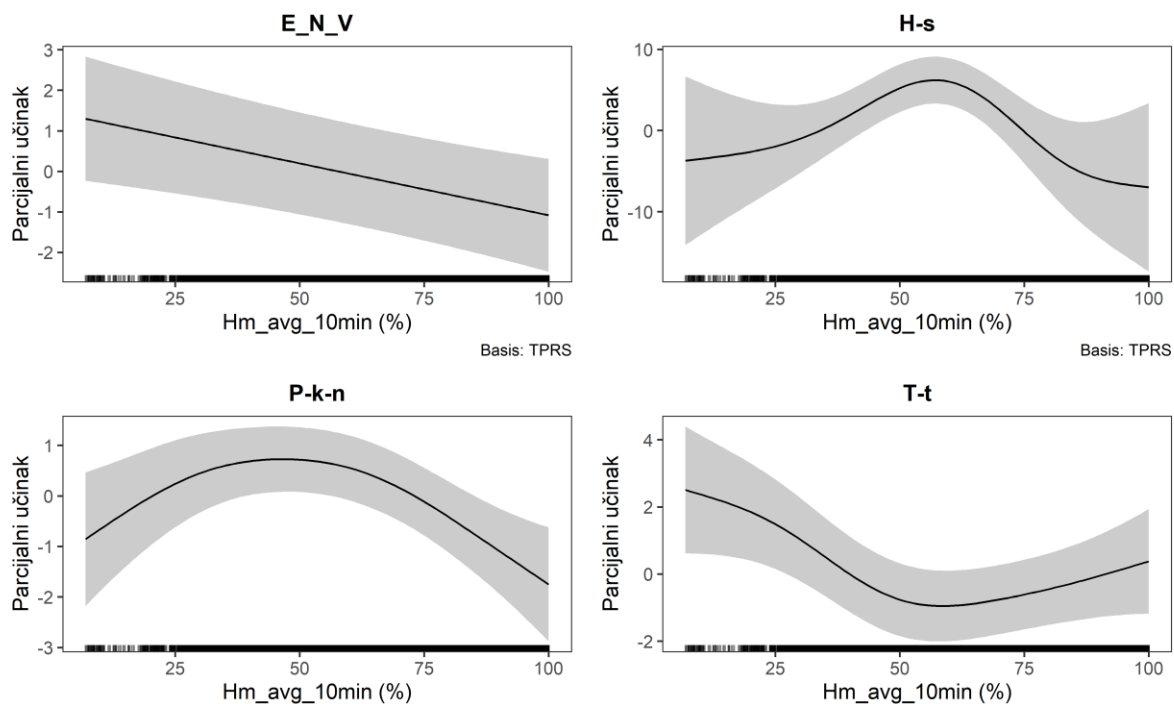
Parcijalni učinak **varijabilnosti relativne vlažnosti** (Slika 66) pokazuje slab negativan odnos s pojavom aktivnosti kod *P. kuhlii* / *P. nathusii*, dok su kod ostalih vrsta / skupina trendovi nesigurni. Kod intenziteta aktivnosti učinak je također slab i varijabilan.

Parcijalni učinak **anomalije atmosferskog tlaka** pokazuje nelinearan odnos s pojavom aktivnosti, pri čemu sve skupine bilježe porast aktivnosti od negativnih prema blago pozitivnim anomalijama, uz blagi pad pri višim vrijednostima. Kod intenziteta aktivnosti učinak je slabiji i manje konzistentan, s blagim maksimumom oko neutralnih vrijednosti kod pojedinih vrsta / skupina i nesigurnosti na rubovima raspona (Slika 67).

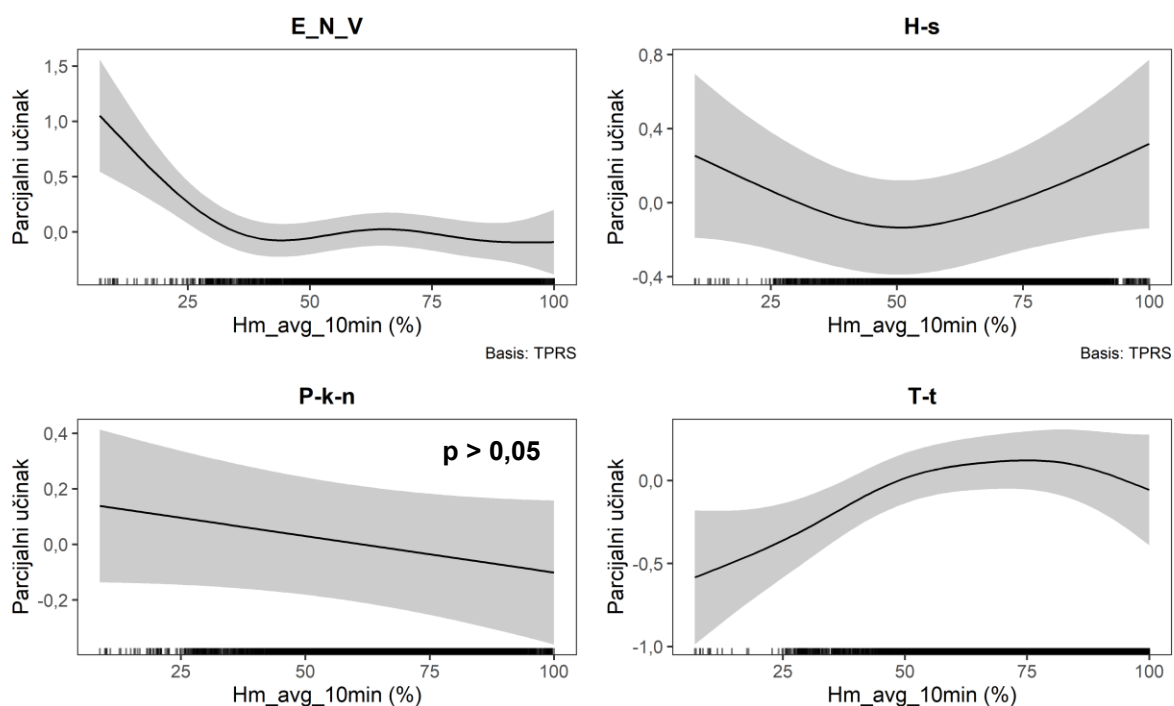
Parcijalni učinak **promjene atmosferskog tlaka** (Slika 68) pokazuje izražene nelinearne obrasce u pojavi aktivnosti. Kod *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* uočava se U-oblik, a kod *H. savii* i *P. kuhlii* / *P. nathusii* negativan odnos pri pozitivnim promjenama tlaka, dok *T. teniotis* nema jasan odnos. Za **varijabilnost promjena tlaka** u modelu intenziteta *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*, *H. savii* i *P. kuhlii* / *P. nathusii* pokazuju izražen U-oblik s minimumom pri umjerenim promjenama, dok *T. teniotis* pokazuje slab, blago negativan trend.

Parcijalni učinak **relativne mjesečine** (Slika 69) na pojavu aktivnosti je slab i nesiguran kod svih skupina, bez jasnog trenda. Za intenzitet aktivnosti varira među skupinama. *H. savii* i *P. kuhlii* / *P. nathusii* pokazuju blagi porast, dok *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* i *T. teniotis* pokazuju oscilacije bez konzistentnog trenda. Rezultati modela seta A na većem uzorku (Prilog 8) ipak upućuju na blagi porast vjerojatnosti aktivnosti *P. kuhlii* / *P. nathusii* pri umjerenoj relativnoj mjesečini te pozitivan odnos s intenzitetom aktivnosti za sve istraživane vrste osim skupinu *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*.

Set B — Relativna vlažnost — Pojava aktivnosti

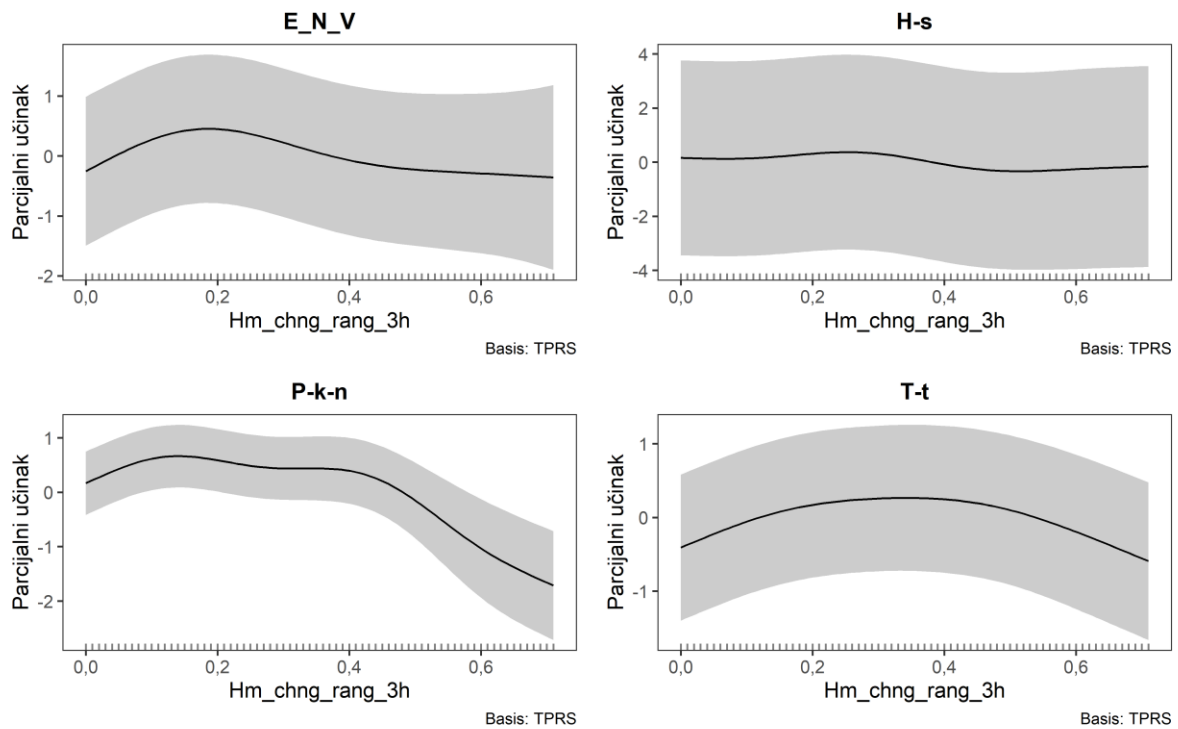


Set B — Relativna vlažnost — Intenzitet aktivnosti

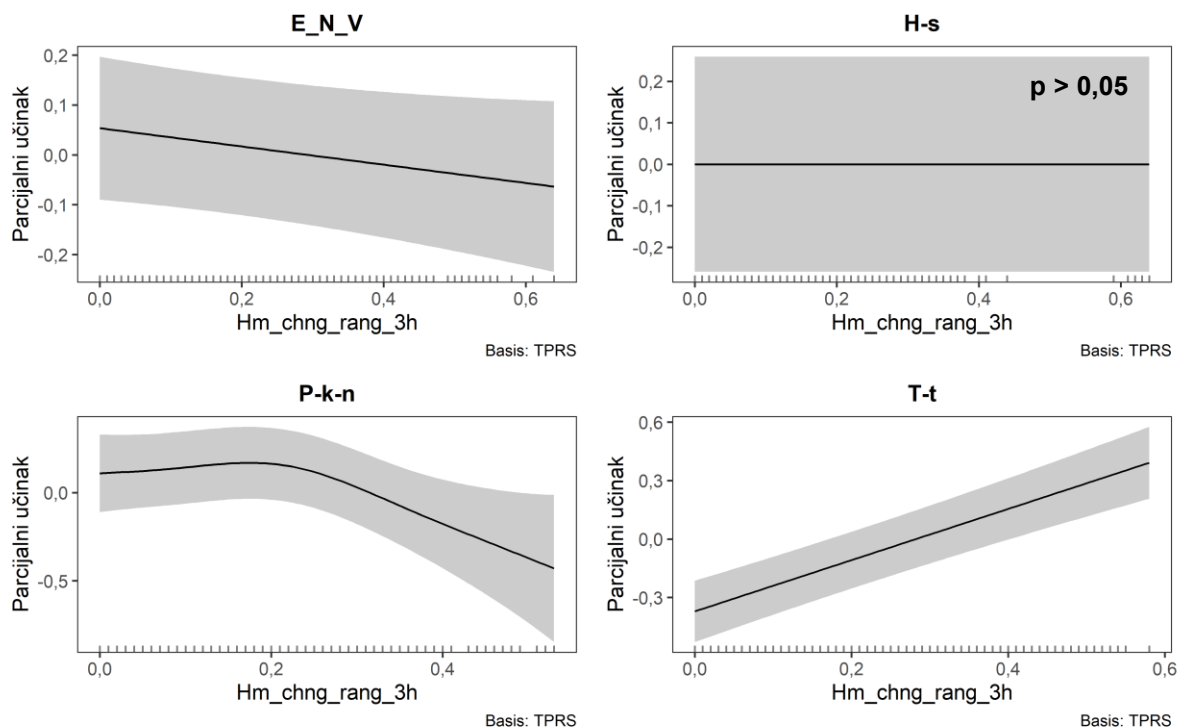


Slika 65 Parcijalni učinak glatke funkcije **relativne vlažnosti zraka** (Hm_avg) GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela **za pojavu i intenzitet aktivnosti** (set B). Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

Set B — Dinamika relativne vlažnosti — Pojava aktivnosti

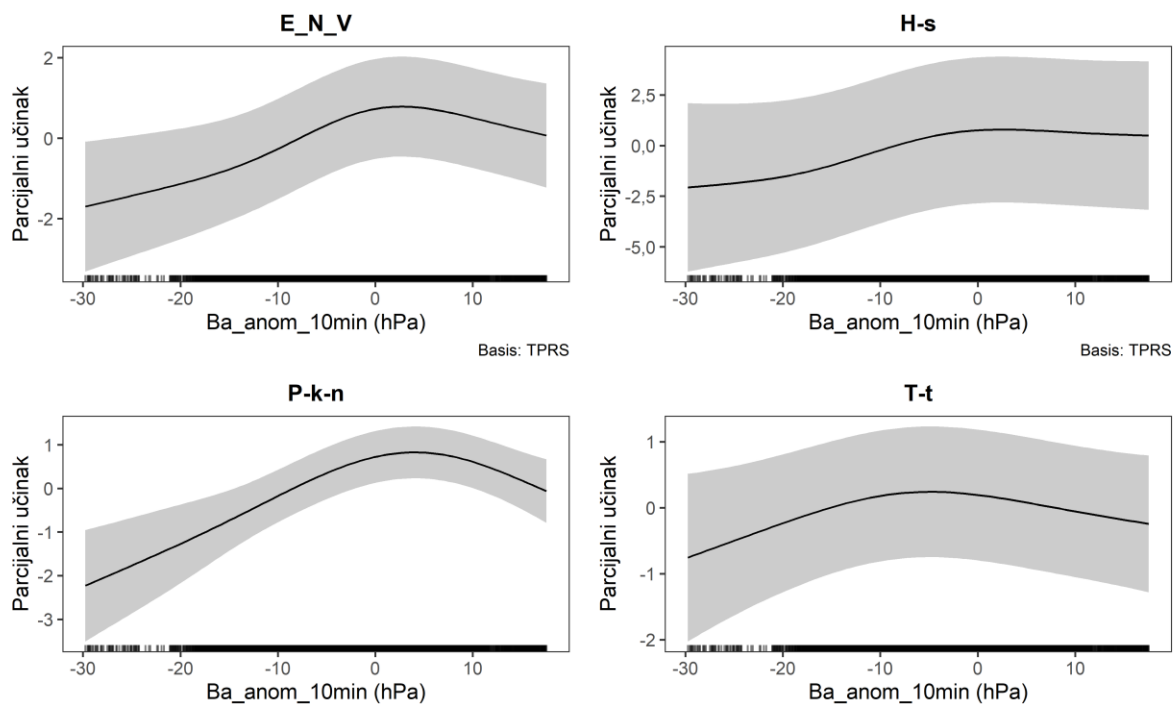


Set B — Dinamika relativne vlažnosti — Intenzitet aktivnosti

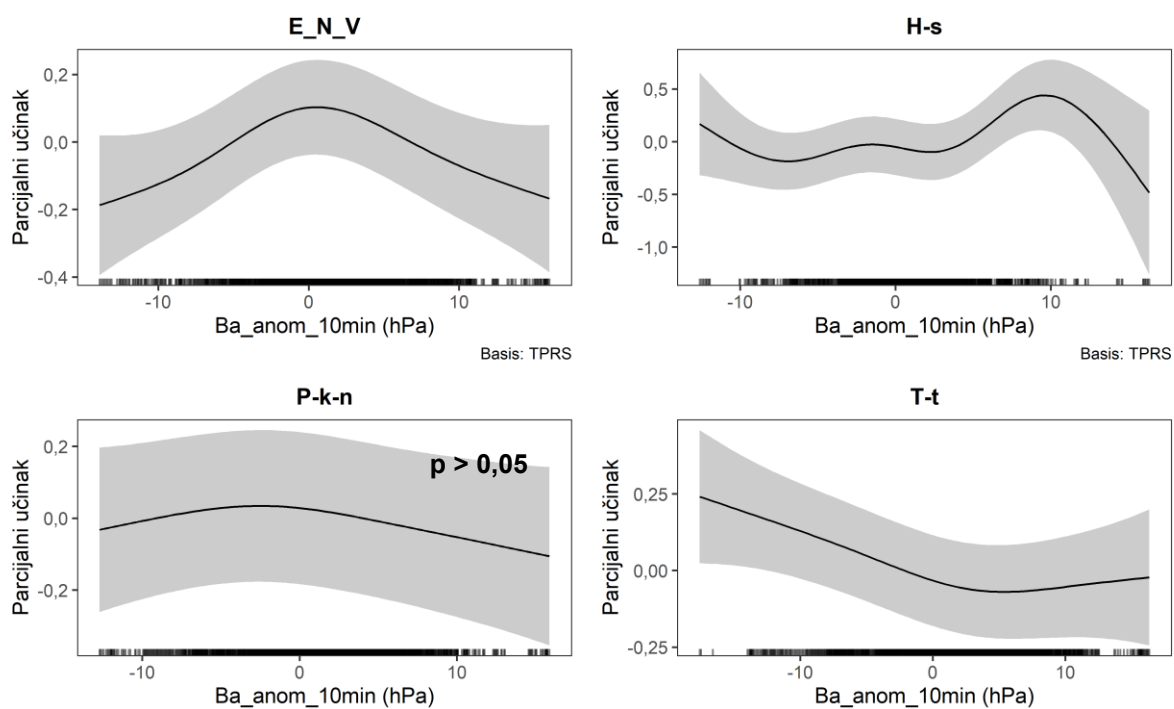


Slika 66 Parcijalni učinak glatke funkcije **varijabilnosti relativne vlažnosti** (Hm_chng_range) GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela **za pojavu i intenzitet aktivnosti (set B)**. Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

Set B — Atmosferski tlak — Pojava aktivnosti

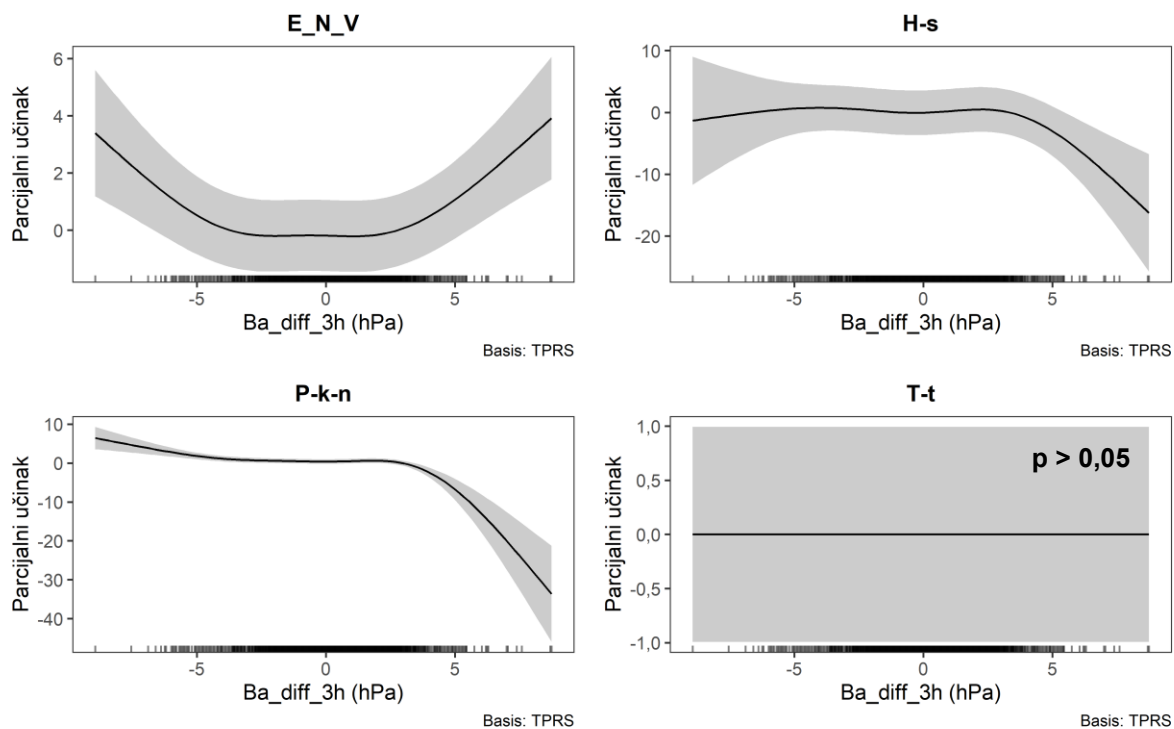


Set B — Atmosferski tlak — Intenzitet aktivnosti

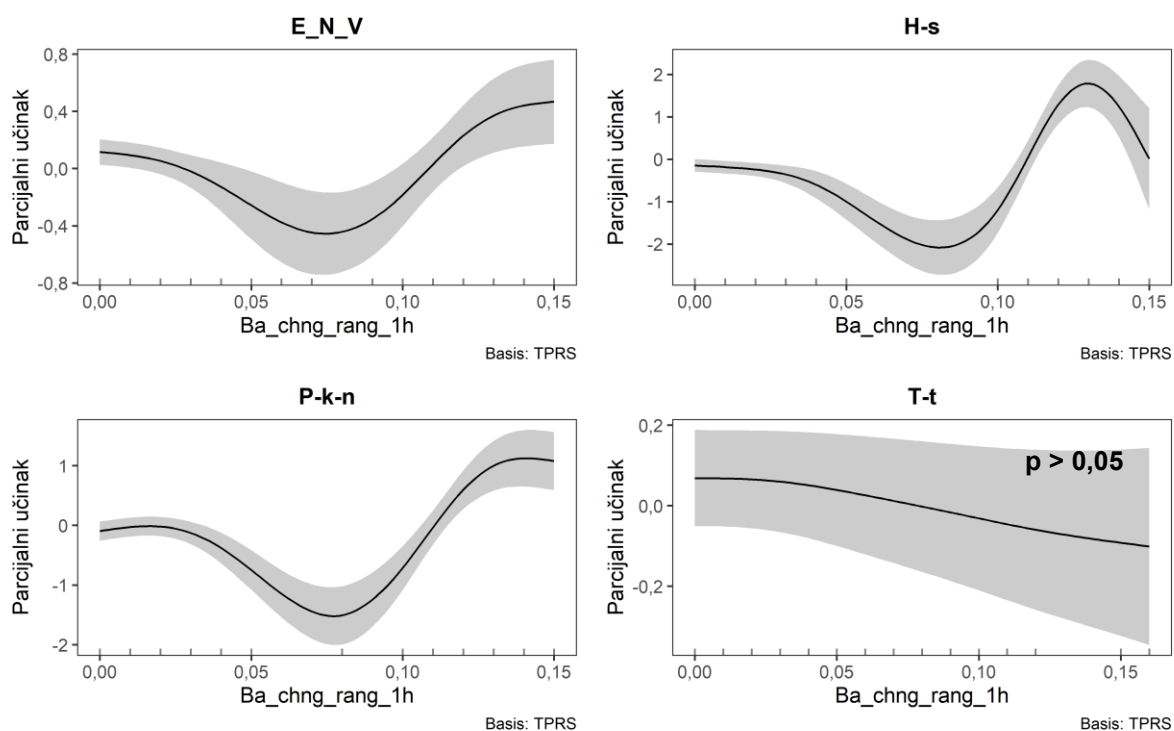


Slika 67 Parcijalni učinak glatke funkcije anomalije tlaka (Ba_anom) GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela za pojavu i intenzitet aktivnosti (set B). Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

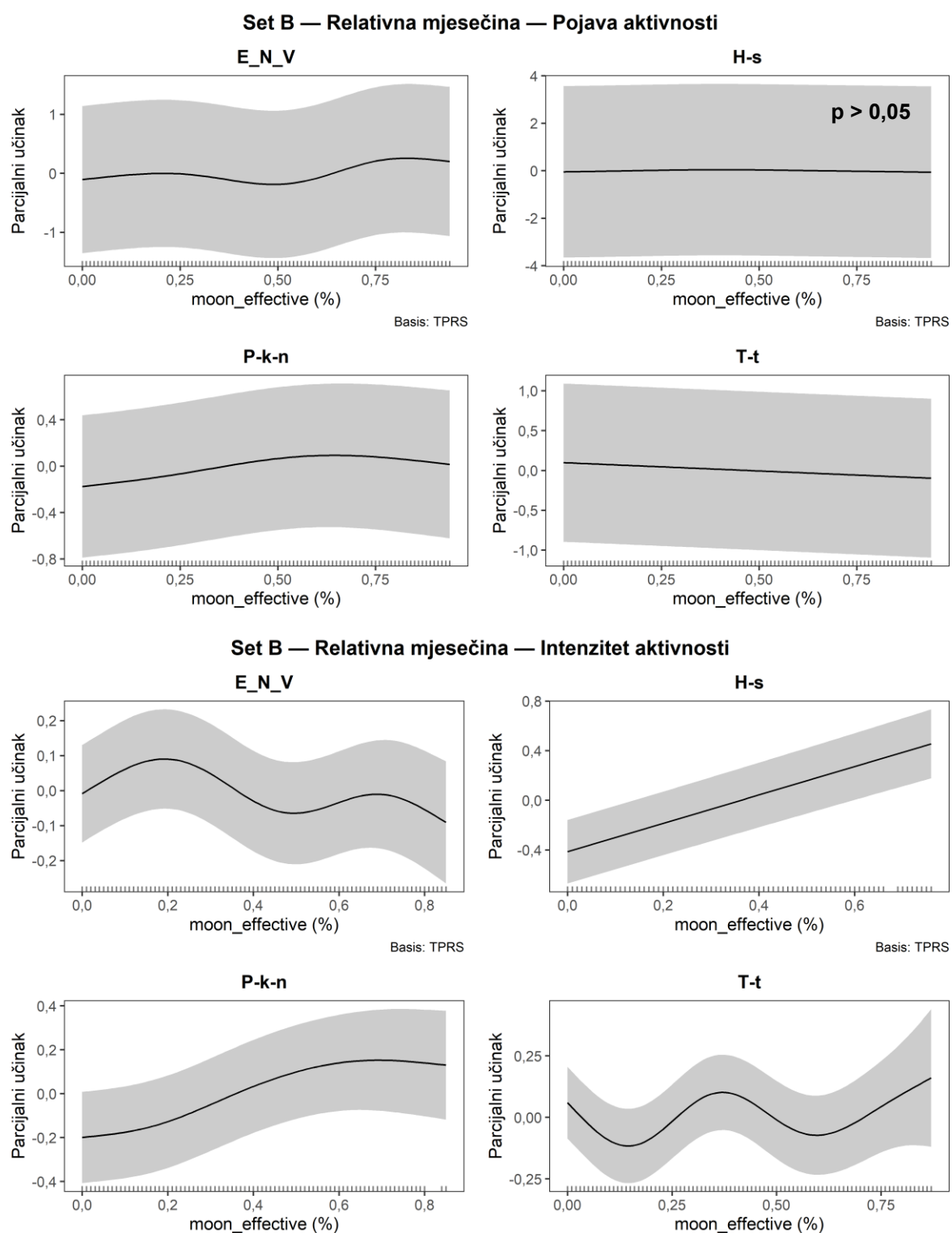
Set B — Dinamika atmosferskog tlaka — Pojava aktivnosti



Set B — Dinamika atmosferskog tlaka — Intenzitet aktivnosti



Slika 68 Parcijalni učinak glatke funkcije **promjene** (Ba_diff) i **varijabilnosti atmosferskog tlaka** (Ba_chng_range) GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela **za pojavu i intenzitet aktivnosti (set B)**. Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.



Slika 69 Parcijalni učinak glatke funkcije **relativne mjesečine** (moon_effective) GAMM dvodijelnog (*hurdle*) modela **za pojavu i intenzitet aktivnosti (set B)**. Vrijednosti na y-osi predstavljaju doprinos pojedinog prediktora. Zasjenjena područja označavaju 95 %-tni interval pouzdanosti procjena.

4.4.3.1 Interakcije mikroklimatskih prediktora

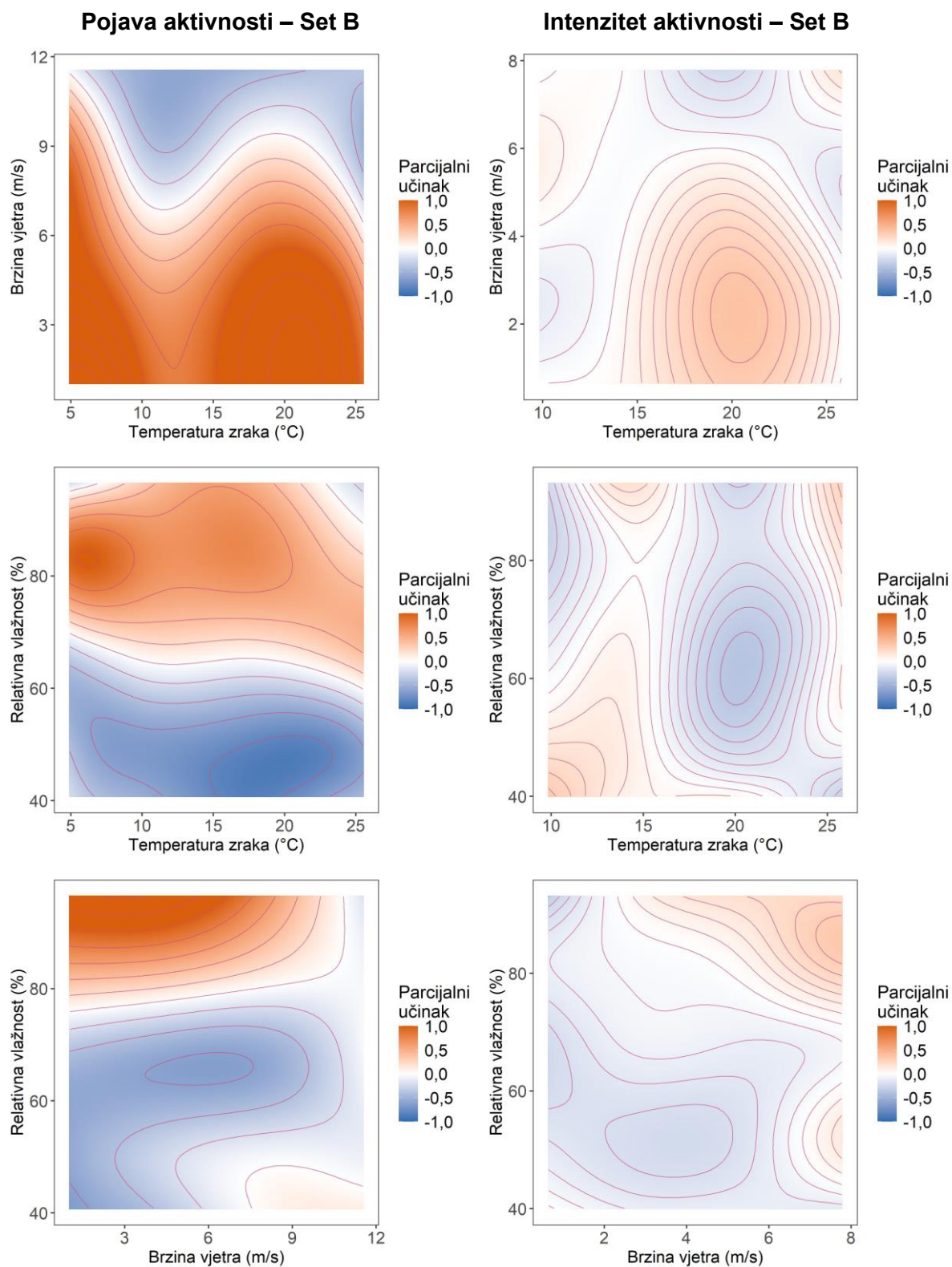
Slika 70 prikazuje parcijalne učinke interakcija, odnosno dodatne doprinose koji opisuju kako se učinak jedne varijable mijenja ovisno o vrijednosti druge, a koji nisu objašnjeni samo pojedinačnim učincima prediktora. Radi preglednijeg prikaza, grafički su prikazani za raspon između 5. i 95. percentila vrijednosti prediktora.

Parcijalni učinak interakcije temperature zraka i brzine vjetra pokazuje da se pozitivan učinak temperature smanjuje s porastom brzine vjetra. Kod vjerojatnosti pojave aktivnosti pozitivan doprinos interakcije najizraženiji je pri niskim brzinama vjetra, dok pri višim brzinama aktivnost ostaje niska neovisno o temperaturi. Sličan, ali blaži obrazac uočen je i kod intenziteta aktivnosti, s maksimumom pri višim temperaturama i niskim brzinama vjetra, dok pri višim brzinama intenzitet ostaje nizak.

Parcijalni učinak interakcije temperature zraka i relativne vlažnosti pokazuje da se najveći doprinos vjerojatnosti pojave aktivnosti javlja pri višim vrijednostima relativne vlažnosti. Taj je učinak izraženiji pri nižim temperaturama, ali se zadržava i kroz širi raspon temperatura. Za razliku od toga, očekivani intenzitet aktivnosti pokazuje izraženiji maksimum pri višim vrijednostima relativne vlažnosti kroz širi temperaturni raspon, bez jasnog ograničenja na niže temperature.

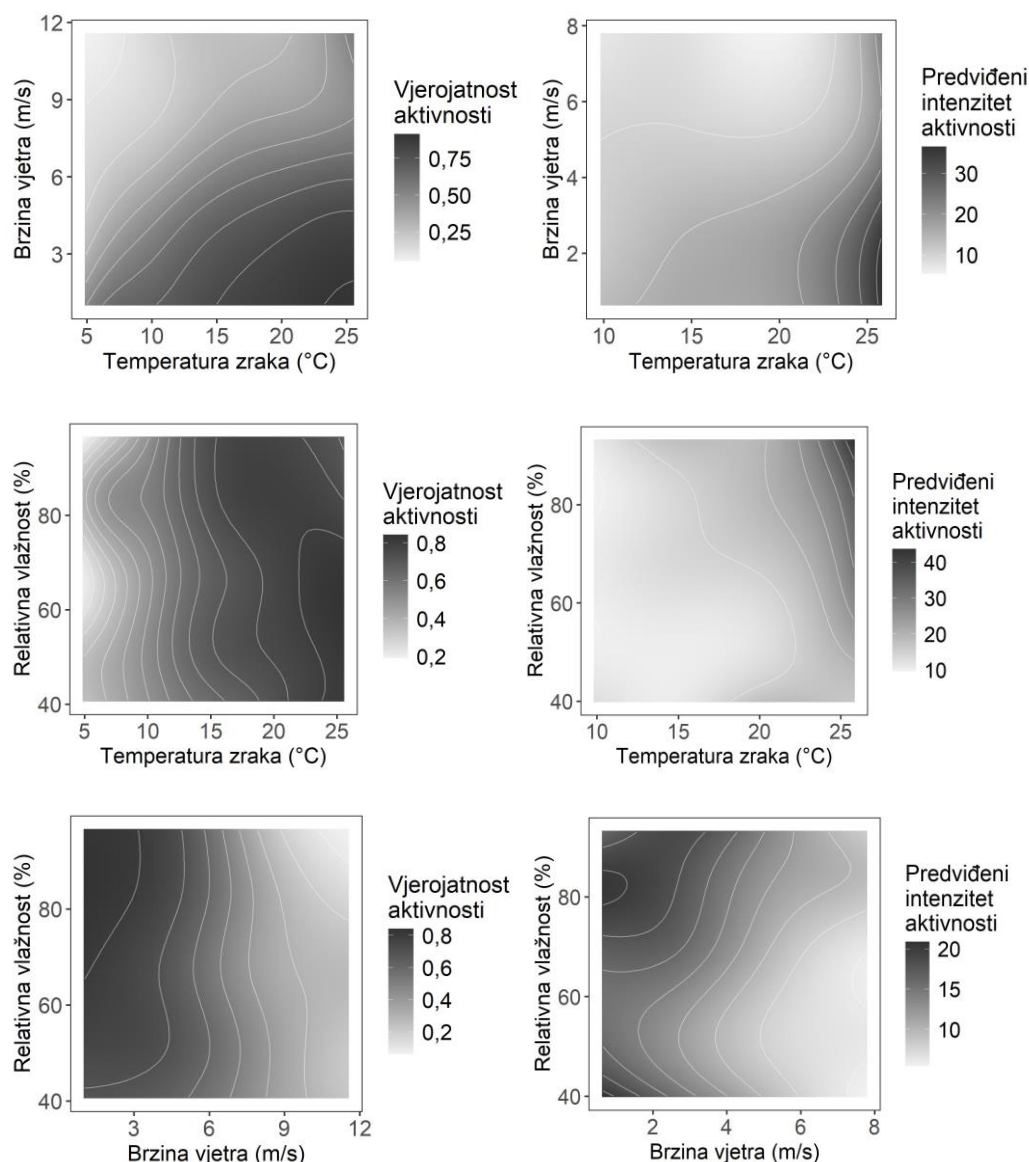
Parcijalni učinak interakcije brzine vjetra i relativne vlažnosti pokazuje da je vjerojatnost pojave aktivnosti najveća pri kombinaciji veće relativne vlažnosti i nižih brzina vjetra, dok se s porastom brzine vjetra taj učinak postupno smanjuje neovisno o vlažnosti. Za očekivani intenzitet aktivnosti učinak je blaži, iako se uočava blago povećanje učinka veće relativne vlažnosti pri višim brzinama vjetra.

Parcijalni učinci za dominantne vrste i skupine prikazani su grafičkim prikazima u Prilogu 9 koje je potrebno interpretirati s oprezom, zbog nesigurnosti procjena i manjeg broja opažanja u pojedinim dijelovima raspona prediktora. Interakcija temperature i brzine vjetra pokazuje najdosljedniji obrazac kroz sve skupine, uz pozitivni učinak pri nižim do umjerenim brzinama vjetra i višim temperaturama. Posebno se ističe sličnost između skupina *H. savii* i *P. kuhlii* / *P. nathusii*. Najmanje konzistentna je interakcija temperature i vlažnosti, gdje se obrasci među skupinama razilaze i pokazuju složenije učinke bez jedinstvenog smjera. Za intenzitet aktivnosti parcijalni učinci interakcija općenito su slabiji i difuzniji nego za njenu pojavu.



Slika 70 Parcijalni učinci interakcija između temperature zraka, brzine vjetra i relativne vlažnosti zraka na aktivnost šišmiša prema GAMM dvodijelnom (*hurdle*) modelu **pojave aktivnosti (lijevo)** i **intenziteta aktivnosti (desno)** za set B. Toplije boje označavaju kombinacije prediktora koje pojačavaju učinak u odnosu na prosječni trend, dok hladnije boje označavaju kombinacije koje ga smanjuju. Linije kontura prikazuju razine jednakog parcijalnog učinka. Prikaz je ograničen na raspon između 5. i 95. percentila vrijednosti pojedinih prediktora.

Zbog složenije interpretacije interakcija, izrađeni su prikazi i ukupnog odgovora modela tj. procijenjene vjerojatnost pojave (0 – 1) i predviđenog intenziteta aktivnosti (N/h) (Slika 71) koji pokazuju da se aktivnost javlja u relativno širokom rasponu mikroklimatskih uvjeta, pri čemu je vjerojatnost njene pojave najveća pri kombinaciji viših temperatura, nižih brzina vjetra i viših vrijednosti relativne vlažnosti. Intenzitet aktivnosti pokazuje izraženiji optimum u užem rasponu sličnih mikroklimatskih uvjeta, što upućuje na njegovu veću osjetljivost na specifične kombinacije.



Slika 71 Ukupni odgovor modela tj. procijenjena vjerojatnost pojave (0 – 1) i predviđeni intenzitet aktivnosti šišmiša (N/h) za interakcije između temperature, brzine vjetra i relativne vlažnosti zraka prema GAMM dvodijelnom (*hurdle*) modelu pojave aktivnosti (lijevo) i intenziteta aktivnosti (desno) za set B. Svjetlije boje označavaju manju vjerojatnost pojave ili manji očekivani intenzitet aktivnosti, dok tamnije boje označavaju veću vjerojatnost pojave ili veći očekivani intenzitet aktivnosti. Linije kontura prikazuju razine jednakog predviđenog odgovora. Prikaz je ograničen na raspon između 5. i 95. percentila vrijednosti pojedinih prediktora.

Prikazi ukupnog očekivanog odgovora modela tj. procijenjene vjerojatnosti pojave aktivnosti (0 – 1) i predviđenog intenziteta aktivnosti (N/h) za dominantne vrste i fonetske skupine prikazani su u Prilogu 10. Interakcija temperature zraka i brzine vjetra najdosljednija je kroz sve skupine. Viša temperatura uz slab vjetar povećava i pojavu i intenzitet aktivnosti, dok jači vjetar taj učinak smanjuje. Slično vrijedi i za interakcije brzine vjetra i relativne vlažnosti, gdje kombinacija visoke vlažnosti i slabog vjetra daje najviše vrijednosti, uz veću sličnost između *H. savii* i *P. kuhlii* / *P. nathusii* nego kod ostalih skupina i vrsta. Interakcija temperature i relativne vlažnosti ostaje varijabilna. Iako se općenito nazire porast aktivnosti pri višim temperaturama i umjereno višoj vlažnosti, obrasci su neujednačeniji među skupinama i slabije usklađeni s ukupnom aktivnošću, osobito za intenzitet aktivnosti. Odstupanja su najizraženija upravo kod intenziteta, posebno za vrstu *T. teniotis*.

4.4.4 Učinak mikroklimе u ovisnosti o noćnoj i sezonskoj dinamici aktivnosti

Uključivanjem kvartila noći i julijanskog dana u završnom modelu omogućena je analiza aktivnosti šišmiša ovisno o dobu noći i sezonskoj dinamici. Interakcije mikroklimatskih prediktora s kvartilima noći i sezonom pri tom nisu uključene u završni model zbog povećane složenosti modela i smanjene mogućnosti interpretacije. Ipak, kao dodatna analiza provedena je usporedba završnog modela s modelima koji uključuju navedene interakcije. Rezultati pokazuju da uključivanje interakcija mikroklimatskih prediktora s kvartilima noći u pojedinim slučajevima dovodi do poboljšanja modela u kontekstu smanjenja AIC vrijednosti (Tablica 29), pri čemu je najizraženiji učinak zabilježen za temperaturu zraka, međutim razlike u udjelu objašnjene devijance (Dev_expl) i prilagođenom koeficijentu determinacije (R^2_{adj}) ostaju male.

Tablica 29 Usporedba GAMM dvodijelnih (*hurdle*) modela pojave i intenziteta ukupne aktivnosti s dodanim interakcijama mikroklimatskih prediktora i kvartila noći u odnosu na završni model (AIC – Akaikeov informacijski kriterij; ΔAIC – razlika u AIC vrijednosti u odnosu na završni model, pri čemu negativne vrijednosti označavaju poboljšanje modela; Dev_expl – udio objašnjene devijance; R^2_{adj} – prilagođeni koeficijent determinacije, tj. udio varijabilnosti u aktivnosti šišmiša koji model objašnjava; n – veličina uzorka). Sivo označeni prediktori koji najviše doprinose poboljšanju modela.

Zavisna varijabla (*_sum_1h)	Model	AIC	ΔAIC u odnosu na završni model	Dev_expl	R^2_{adj}	n
SET A						
Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)	Završni model	134304,52	-	0,2637	0,3059	137626
	WS_Qnoc	134197,53	-106,99	0,2644	0,3062	137626
	Tm_Qnoc	134219,62	-84,9	0,2643	0,3063	137626
Intenzitet aktivnosti (N > 0)	Završni model	265844,26	-	0,3284	0,1894	51597
	Tm_Qnoc	265496,39	-347,87	0,3336	0,1939	51597
	WS_Qnoc	265669,33	-174,93	0,3312	0,1912	51597
SET B						
Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)	Završni model	69833,53		0,2856	0,3274	73551
	Tm_Qnoc	69764,93	-68,6	0,2866	0,3281	73551
	WS_Qnoc	69776,44	-57,09	0,2864	0,3278	73551
	Ba_Qnoc	69902,09	68,56	0,2850	0,3265	73551
	Hm_Qnoc	69933,47	99,94	0,2846	0,3264	73551
Intenzitet aktivnosti (N > 0)	Završni model	140271,04		0,4526	0,3145	27565
	Tm_Qnoc	139908,66	-362,38	0,4611	0,3224	27565
	WS_Qnoc	140116,49	-154,55	0,4564	0,3152	27565
	Hm_Qnoc	140236,81	-34,23	0,4538	0,3156	27565
	Ba_Qnoc	140270,36	-0,68	0,4531	0,3139	27565

Dodatna usporedba modela koji uključuju sezonski specifične učinke mikroklimatskih prediktora (proljeće: ožujak – svibanj; ljeto: lipanj – kolovoz; jesen: rujan – studeni) pokazuje da sve testirane interakcije dovode do smanjenja AIC vrijednosti u odnosu na završni model (Tablica 30). Najveće poboljšanje zabilježeno je za temperaturu zraka, dok u modelima za set A dodatno dolazi do izražaja i učinak brzine vjetera. Za set B sezonsku ovisnost pokazuju i relativna vlažnost te atmosferski tlak, ali s manjim učinkom. Kao i kod interakcija s kvartilima noći, povećanje objašnjene devijance i prilagođenog koeficijenta determinacije ostaje relativno malo. Rezultati ukazuju da se učinci mikroklimatskih prediktora na aktivnost šišmiša djelomično mijenjaju ovisno o dobu noći i sezoni, no osnovni obrasci odnosa već su dobro opisani jednostavnijim modelima bez dodatnih interakcija.

Tablica 30 Usporedba GAMM dvodijelnih (*hurdle*) modela pojave i intenziteta ukupne aktivnosti s dodanim interakcijama mikroklimatskih prediktora i sezona (proljeće: ožujak – svibanj; ljeto: lipanj – kolovoz; jesen: rujan – studeni) u odnosu na završni model (AIC – Akaikeov informacijski kriterij; Δ AIC – razlika u AIC vrijednosti u odnosu na završni model, pri čemu negativne vrijednosti označavaju poboljšanje modela; Dev_expl – udio objašnjene devijance; R^2_{adj} – prilagođeni koeficijent determinacije, tj. udio varijabilnosti u aktivnosti šišmiša koji model objašnjava; n – veličina uzorka)

Zavisna varijabla (*_sum_1h)	Model	AIC	Δ AIC u odnosu na završni model	Dev_expl	R^2_{adj}	n
SET A						
Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)	Završni model	134304,5		0,2637	0,3059	137626
	Tm_sezona	133978,8	-325,767	0,2656	0,3076	137626
	WS_sezona	134142,3	-162,199	0,2647	0,3067	137626
Intenzitet aktivnosti (N > 0)	Završni model	265844,3		0,3284	0,1894	51597
	Tm_sezona	265655,5	-188,809	0,3314	0,1943	51597
	WS_sezona	265746,3	-97,9871	0,3300	0,1920	51597
SET B						
Pojava aktivnosti (N = 0 / N > 0)	Završni model	69833,53		0,2856	0,3274	73551
	Tm_sezona	69635,73	-197,81	0,2879	0,3296	73551
	WS_sezona	69651,41	-182,13	0,2876	0,3291	73551
	Ba_sezona	69762,18	-71,36	0,2865	0,3285	73551
	Hm_sezona	69776,65	-56,88	0,2862	0,3279	73551
Intenzitet aktivnosti (N > 0)	Završni model	140271,04		0,4526	0,3145	27565
	Tm_sezona	140056,33	-214,71	0,4577	0,3229	27565
	WS_sezona	140090,24	-180,80	0,4568	0,3254	27565
	Hm_sezona	140221,44	-49,60	0,4541	0,3173	27565
	Ba_sezona	140225,73	-45,31	0,4540	0,3159	27565

4.4.5 Prostorna specifičnost modela

Deskriptivna analiza pokazala je da se ukupna razina aktivnosti šišmiša razlikuje među lokalitetima. Rezultati modeliranja ukazuju da dio tih razlika ostaje prisutan i nakon uključivanja sezonske i noćne dinamike te mikroklimatskih uvjeta. Slučajni učinak kombinacije lokalitet_godina (*loc_year*) upućuje na dodatnu prostorno-vremensku varijabilnost u aktivnosti šišmiša koja nije objašnjena uključenim prediktorima (Tablica 31). Procjene slučajnog učinka pokazuju da među kombinacijama lokalitet_godina i nakon kontrole za sezonske i mikroklimatske varijable, ostaju razlike u vjerojatnosti pojave aktivnosti i intenzitetu aktivnosti koje nisu objašnjene uključenim prediktorima. Najveća odstupanja zabilježena su za kombinaciju E_2024 u modelu pojave aktivnosti i B_2015 u modelu intenziteta aktivnosti.

Ovi rezultati ukazuju na postojanje međugodišnje varijabilnosti unutar lokaliteta te upućuju na dodatne lokalne čimbenike koji utječu na aktivnost šišmiša. Time se potvrđuje da su modeli barem djelomično prostorno i vremenski specifični.

Tablica 31 Procjene slučajnog učinka kombinacije lokalitet_godina (*loc_year*) u dvodijelnom (*hurdle*) GAMM modelu aktivnosti šišmiša (set B). Vrijednosti predstavljaju odstupanja od prosječne razine aktivnosti modela uz kontrolu sezonske dinamike, kvartila noći i mikroklimatskih prediktora. Pozitivne vrijednosti označavaju višu, a negativne nižu bazalnu razinu aktivnosti u odnosu na prosjek modela (SE – standardna pogreška).

Lokalitet_godina	Pojava aktivnosti (procjena ± SE)	Intenzitet aktivnosti (procjena ± SE)
B_2015	-0,292 ± 0,224	-0,415 ± 0,232
C_2018	-0,102 ± 0,225	-0,287 ± 0,232
E_2024	-0,739 ± 0,224	-0,329 ± 0,232
F_2017	-0,426 ± 0,223	-0,326 ± 0,231
G_2022	0,152 ± 0,224	-0,023 ± 0,231
H_2018	0,363 ± 0,224	0,052 ± 0,231

4.5 Dopunska analiza istraživanih lokaliteta u širem prostornom kontekstu na temelju sastava vrsta šišmiša

Ne-metričko višedimenzionalno skaliranje (NMDS), temeljeno na relativnim udjelima zabilježene aktivnosti vrsta i fonetskih skupina šišmiša snimljenih ultrazvučnim detektorima, pokazalo je jasno razdvajanje lokaliteta prema biogeografskim regijama (Slika 72, Tablica 32). Lokalizeti alpinske regije grupirani su u desnom dijelu ordinacijskog prostora (pozitivne vrijednosti osi NMDS1), dok su lokalizeti mediteranske regije i odabrani lokalizeti za analizu utjecaja mikroklima na aktivnost šišmiša u Dalmaciji koncentrirani u lijevom dijelu grafa (negativne vrijednosti osi NMDS1). Lokalizeti prijelazne zone raspoređeni su ovisno o značajkama lokacije: lokalitet K, smješten najbliže moru (općina Bakar), te lokalitet N, čija obilježja odgovaraju mediteranskoj regiji (općina Knin), u ordinacijskom se prostoru podudaraju s lokalitetima mediteranske regije, dok je lokalitet P, smješten dublje u kontinentalnom području (općina Gračac), po obilježjima kao i sastavu faune bliži lokalitetima alpinske regije. Nadmorska visina pritom nije uočena kao odlučujući čimbenik, što je vidljivo iz položaja lokaliteta mediteranske regije G (810 m n. v.) i H (1024 m n. v.), koji se u ordinacijskom prostoru ne izdvajaju od ostalih mediteranskih lokaliteta.

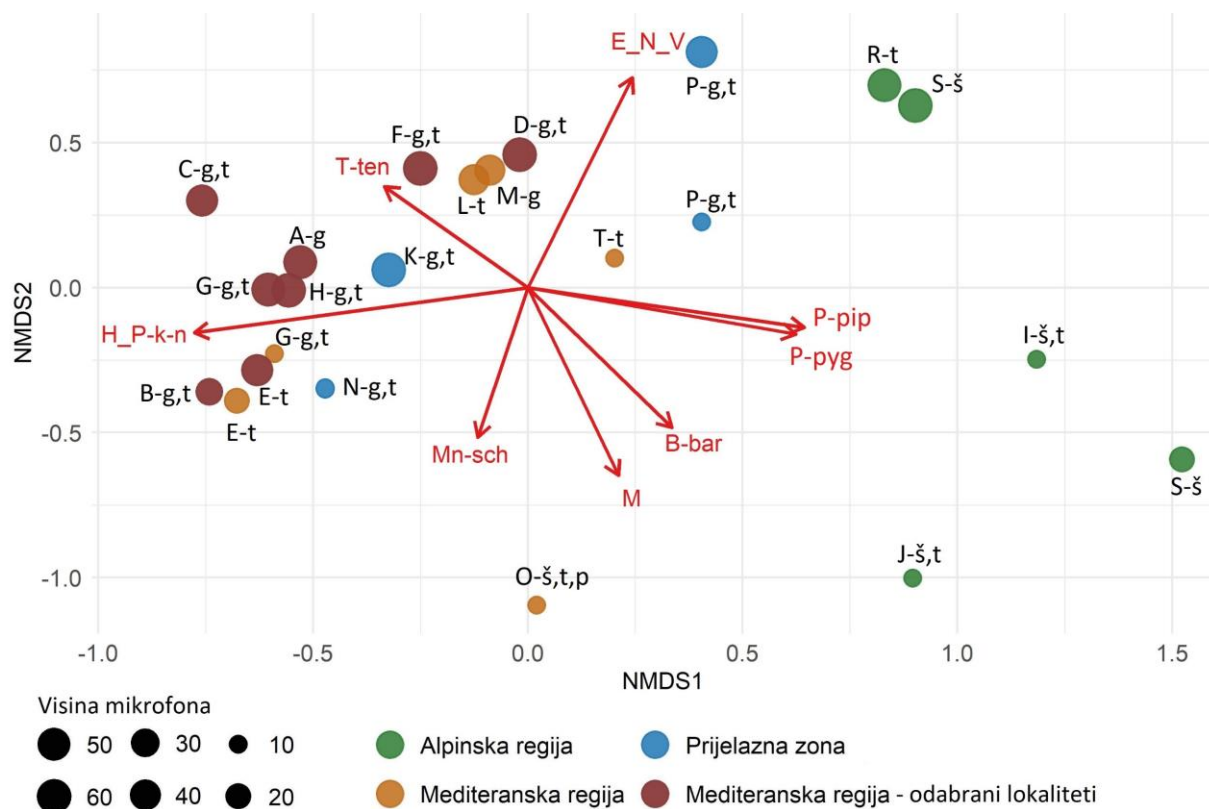
Uz biogeografsku diferencijaciju, uočljivo je i djelomično razdvajanje lokaliteta prema fizionomskim tipovima vegetacije, pri čemu su lokalizeti povezani sa šumskom vegetacijom češće smješteni uz negativne vrijednosti osi NMDS2. Na taj obrazac dodatno utječe i visina mikrofona, koja odražava stupanj otvorenosti staništa i promjene u sastavu vrsta u odnosu na udio vrsta koje lete bliže tlu te onih koje češće koriste veće visine leta i otvorenija staništa. Snimanja provedena na većim visinama u pravilu su smještena negativnije duž osi NMDS2 u odnosu na iste lokalizete snimane na nižim visinama (npr. lokalizeti E, G i P). Lokalitet O, obilježen kombinacijom šumske, travnjačke i poljoprivredne vegetacije (š, t, p), zauzima izdvojeni položaj u donjem dijelu ordinacijskog prostora. Njegov položaj sugerira da šumska staništa mediteranske regije imaju donekle drugačiji sastav vrsta u odnosu na odabrane lokalizete, ali ne u istoj mjeri kao u odnosu na alpsku regiju.

Analiza vektorske prilagodbe (envfit) identificirala je više statistički značajnih fonetskih skupina i vrsta koje objašnjavaju obrasce raspodjele lokaliteta ($p < 0,05$). Fonetska skupina *Hypsugo savii* / *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii* snažno je povezana s

lokalitetima mediteranske regije. Slično tome, *Tadarida teniotis* pokazuje povezanost s lijevim gornjim kvadrantom ordinacijskog prostora, što upućuje na njezinu povezanost s otvorenim staništima mediteranskog područja. Suprotno tome, vrste *P. pipistrellus* i *P. pygmaeus* prostorno su usklađene s lokalitetima alpinske regije. Fonetska skupina *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* povezana je s pozitivnim vrijednostima osi NMDS2, odnosno s akustički otvorenijim staništima, dok su uz snimanja bliže tlu izraženije povezani *Miniopterus schreibersii* (u smjeru mediteranske regije) te rod *Myotis* i vrsta *Barbastella barbastellus* (u smjeru alpinske regije).

Kako bi se provjerilo u kojoj mjeri tehnički uvjeti snimanja, odnosno visina mikrofona, utječu na ordinacijske obrasce, provedena je dodatna analiza iz koje su isključeni rodovi *Myotis*, *Rhinolophus*, *Plecotus* i *Barbastella*, koji se uglavnom bilježe pri nižim visinama te čine vrlo mali udio zabilježene aktivnosti i na lokalitetima korištenima za razvoj modela (<3 % *Myotis*, <1 % *Plecotus*, 0 % *Rhinolophus* i *Barbastella*).

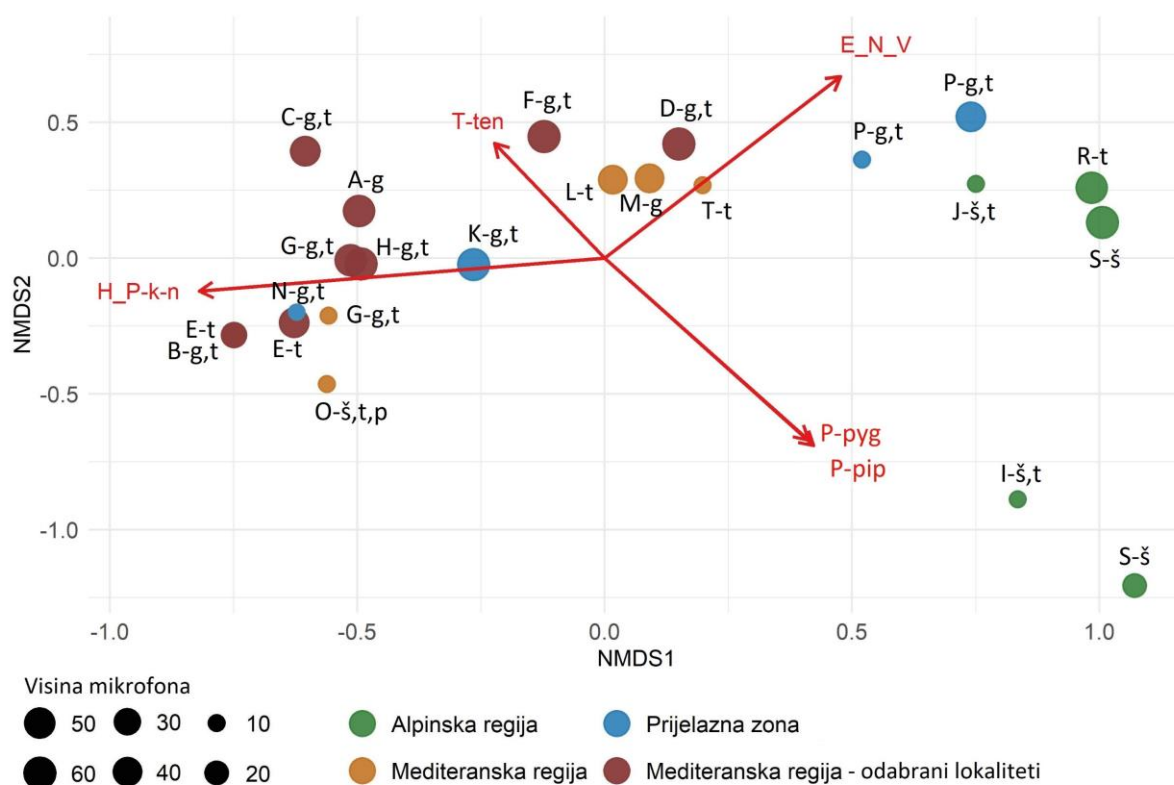
U odnosu na analizu koja uključuje sve vrste, uočljivo je smanjenje raspršenosti lokaliteta duž osi NMDS2, pri čemu su razlike među lokalitetima izraženije u odnosu na biogeografske i vegetacijske tipove (Slika 73, Tablica 33). Razlike u odnosu na tehničke uvjete snimanja su manje, pri čemu se lokaliteti snimani na različitim visinama unutar istog područja (npr. E, G i P) u većoj mjeri preklapaju. Lokalitet O i u ovoj analizi zadržava izdvojeni položaj, no njegova udaljenost u odnosu na ostale mediteranske lokalitete manja je nego u analizi svih vrsta. Skupina *H. savii* / *P. kuhlii* / *P. nathusii* i dalje je snažno povezana s mediteranskom regijom, slično kao *P. pipistrellus* i *P. pygmaeus* s alpskom regijom. Vrsta *T. teniotis* pokazuje povezanost s lijevim gornjim kvadrantom ordinacijskog prostora, karakterističnim za otvorena staništa i veće visine leta u mediteranskoj regiji, za razliku od skupine *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* čija je povezanost s otvorenim staništima sada izraženija u smjeru alpinske regije.



Slika 72 NMDS ordinacija sastava faune šišmiša na istraživanim lokalitetima, temeljena na relativnim udjelima zabilježene aktivnosti fonetskih skupina i vrsta (M – *Myotis*, H_P-k-n – *Hypsugo savii* / *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii*, P. pip – *P. pipistrellus*, P-pyg – *P. pygmaeus*, E_N_V – *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*, B-bar – *B. barbastellus*, Mn-sch – *Miniopterus schreibersii*, T-ten – *Tadarida teniotis*). Smjer i duljina strelica prikazuju jačinu i smjer povezanosti pojedinih fonetskih skupina/vrsta s obrascima raspodjele lokaliteta (envfit, $p < 0,05$). Točke su označene oznakama lokaliteta (A – T) i fizionomskim tipovima vegetacije prisutnima do 150 m od točke snimanja (t – travnjačka vegetacija, g – grmolika vegetacija, š – šumska vegetacija, p – poljoprivredne površine). Odabrani lokaliteti su lokaliteti korišteni u analizi utjecaja mikroklima na aktivnost šišmiša.

Tablica 32 Rezultati envfit analize fonetskih skupina i vrsta šišmiša na NMDS ordinaciji (koeficijenti vektora NMDS1 i NMDS2, R^2 i p-vrijednosti (podebljano $< 0,05$)).

Vrsta / fonetska skupina	NMDS1	NMDS2	R^2	p
<i>H. savii</i> / <i>P. kuhlii</i> / <i>P. nathusii</i>	-0,9136	-0,18291	0,868	0,001
<i>Eptesicus</i> / <i>Nyctalus</i> / <i>Vespertilio</i>	0,28608	0,85096	0,806	0,001
<i>Myotis</i>	0,24811	-0,76176	0,642	0,001
<i>B. barbastellus</i>	0,39476	-0,56737	0,478	0,001
<i>P. pipistrellus</i>	0,75694	-0,16129	0,599	0,002
<i>P. pygmaeus</i>	0,73428	-0,18802	0,575	0,002
<i>Mi. schreibersii</i>	-0,13665	-0,60699	0,387	0,008
<i>T. teniotis</i>	-0,39326	0,40955	0,322	0,023
<i>R. hipposideros</i>	0,00315	-0,47839	0,229	0,086
<i>R. euryale</i>	0,37029	-0,14077	0,157	0,277
<i>R. ferrumequinum</i>	-0,21322	-0,19414	0,083	0,395
<i>Plecotus</i>	0,23743	-0,06357	0,060	0,502
<i>R. blasii</i>	0,03788	0,03496	0,003	0,999



Slika 73 NMDS ordinacija sastava faune šišmiša na istraživanim lokalitetima, temeljena na relativnim udjelima zabilježene aktivnosti fonetskih skupina i vrsta koje se bilježe visinama do 60 m iznad tla (H_P-k-n – *Hypsugo savii* / *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii*, P. pip – *P. pipistrellus*, P-pyg – *P. pygmaeus*, E_N_V – *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*, T-ten – *Tadarida teniotis*). Smjer i duljina strelica prikazuju jačinu i smjer povezanosti pojedinih fonetskih skupina/vrsta s obrascima raspodjele lokaliteta (envfit, $p < 0,05$). Točke su označene oznakama lokaliteta (A – T) i fizionomskim tipovima vegetacije prisutnima do 150 m od točke snimanja (t – travnjačka vegetacija, g – grmolika vegetacija, š – šumska vegetacija, p – poljoprivredne površine). Odabrani lokaliteti su lokaliteti korišteni u analizi utjecaja mikroklima na aktivnost šišmiša.

Tablica 33 Rezultati envfit analize fonetskih skupina i vrsta šišmiša koje se bilježe visinama do 60 m iznad tla na NMDS ordinaciji (koeficijenti vektora NMDS1 i NMDS2, R^2 i p-vrijednosti (podebljano $< 0,05$)).

Vrsta / fonetska skupina	NMDS1	NMDS2	R^2	p
<i>H. savii</i> / <i>P. kuhlii</i> / <i>P. nathusii</i>	-0,96389	-0,14344	0,950	0,001
<i>Eptesicus</i> / <i>Nyctalus</i> / <i>Vespertilio</i>	0,56141	0,78641	0,934	0,001
<i>P. pipistrellus</i>	0,49719	-0,81244	0,907	0,001
<i>P. pygmaeus</i>	0,4847	-0,78791	0,856	0,001
<i>T. teniotis</i>	-0,26231	0,49821	0,317	0,029
<i>Mi. schreibersii</i>	-0,19218	-0,36698	0,172	0,105

5 RASPRAVA

5.1 Razlika između pojave i intenziteta aktivnosti

Jedan od ključnih nalaza ovog istraživanja jest razlika između čimbenika koji utječu na pojavu aktivnosti i onih koji utječu na njezin intenzitet. Ovaj rezultat potvrđuje opravdanost primjene dvodijelnog (*hurdle*) modela koji u prvom dijelu modelira pojavu aktivnosti na temelju binarnog odgovora („ima / nema“ aktivnosti), a u drugom intenzitet aktivnosti šišmiša unutar vremenskih intervala sa zabilježenom aktivnosti, što je opravdano i s biološkog stajališta. Naime, pojava aktivnosti, odnosno „odluka“ o izlasku iz skloništa, razlikuje se od procesa koji određuje intenzitet aktivnosti nakon njezine pojave. Drugim riječima, uvjeti koji omogućuju aktivnost mogu se razlikovati od onih koji omogućuju njezin veći intenzitet. Slične zaključke donose i Laurence i sur. (2024), koji pokazuju da dvodijelni (*hurdle*) modeli omogućuju preciznije opisivanje odnosa između aktivnosti i okolišnih prediktora u odnosu na pristupe s integralnim (jednodijelnim) modelima. Tako u ovom istraživanju pojava aktivnosti pokazuje relativno stabilan i predvidljiv sezonski obrazac, dok je intenzitet aktivnosti znatno varijabilniji, osjetljiviji na trenutačne mikroklimatske uvjete te povezan s većom nesigurnošću procjene, posebno u uvjetima velikog intenziteta aktivnosti.

5.2 Uloga vremenske skale i dinamike mikroklimatskih uvjeta

Rezultati usporedbe modela prilikom odabira mikroklimatskih prediktora pokazali su da isti mikroklimatski čimbenici utječu na pojavu i intenzitet aktivnosti šišmiša, ali na različitim vremenskim skalama. Njihov učinak pritom nije izoliran, već se ostvaruje i kroz međusobne interakcije te različite aspekte dinamike, uključujući varijabilnost te smjer i intenzitet promjena mikroklimatskih uvjeta. Navedeni zaključci su od posebnog značaja s obzirom na to da dosadašnja istraživanja rijetko istovremeno uključuju kontinuirano praćenje aktivnosti i mikroklimata na istim lokalitetima u visokoj vremenskoj rezoluciji te u pravilu ne razmatraju veći broj mikroklimatskih čimbenika, njihovu dinamiku i međusobne interakcije.

Tako usporedbe modela s mikroklimatskim prediktorima koji opisuju prosječno stanje okoliša na razini od 10 min, 1 h i 3 h, kao i anomalije atmosferskog tlaka (odnosno njegova odstupanja od prosjeka lokaliteta), upućuju na to da je pojava aktivnosti

povezana s općenitijim i stabilnijim meteorološkim uvjetima, koji su najbolje opisani duljim vremenskim intervalima, ponajprije temperature zraka (na razini 3 h) i brzine vjetra (na razini 1 h). Nasuprot tome, intenzitet aktivnosti osjetljiviji je na kratkoročne promjene mikroklimе meteoroloških uvjeta, zbog čega su se hijerarhijskim odabirom kao bolji pokazali modeli s prediktorima na kraćim vremenskim skalama (temperatura zraka i brzina vjetra na razini 10-minutnih intervala).

Uključivanje varijabli koje opisuju dinamiku mikroklimе pokazalo se relevantnim i u ranijim istraživanjima (npr. Smith i McWilliams 2016). U ovoj disertaciji isti prediktori dinamike doveli su do najvećeg poboljšanja modela pojave i intenziteta aktivnosti za većinu mikroklimatskih čimbenika (varijabilnost za temperaturu i relativnu vlažnost zraka te smjer i intenzitet promjene za brzinu vjetra), uglavnom na vremenskoj skali od 3 h, osim promjene brzine vjetra, koja se pokazala relevantnijom na kraćoj skali od 1 h. Takav rezultat je i ekološki smislen, budući da je logično da šišmiši brže reagiraju na promjene brzine vjetra nego na promjene drugih mikroklimatskih uvjeta, koji se u pravilu mijenjaju sporije. Za atmosferski tlak se promjena smjera i intenziteta na razini 3 h pokazala relevantnijom za pojavu aktivnosti, dok je varijabilnost na razini 1 h pokazala najbolje poboljšanje modela intenziteta aktivnosti šišmiša.

Istodobno, konzistentno poboljšanje modela uključivanjem interakcija između temperature, brzine vjetra i relativne vlažnosti u oba dijela modela potvrđuje da mikroklimatski čimbenici djeluju zajednički, a ne izolirano.

5.3 Intenzitet oborine (hipoteza H2)

Iako intenzitet oborine nije uključen u završne multivarijatne modele zbog ograničenog broja opažanja, deskriptivna analiza ukazuje na izrazito nizak udio aktivnosti tijekom oborina. Pri većim intenzitetima oborine aktivnost gotovo u potpunosti izostaje. Dobiveni rezultati upućuju na postojanje jasne granice u odgovoru aktivnosti na oborinu, pri čemu vrlo slabe oborine ($\leq 1,0$ mm/h) još uvijek omogućuju ograničenu aktivnost, dok već umjereni intenziteti (> 1 mm/h) dovode do naglog smanjenja, odnosno izostanka aktivnosti. Navedeni obrazac pruža jasnu potporu prihvatanju hipoteze H2, prema kojoj prisutnost oborine značajno smanjuje intenzitet aktivnosti šišmiša, što je u skladu i s rezultatima većine dosadašnjih istraživanja (Amorim i sur. 2012, Behr i sur. 2017, Brabant i sur. 2021, Squires i sur. 2021, Laurence i sur. 2024),

i to potencijalno zbog manje aktivnosti kukaca u okolišu, otežane eholokacije i/ili leta (Griffin 1971, Voigt i sur. 2011, Hawkes i sur. 2023).

5.4 Temperatura zraka, brzina vjetra, relativna vlažnost zraka i atmosferski tlak (hipoteze H1, H3)

Rezultati modela ukazuju na važnu ulogu mikroklimе u oblikovanju aktivnosti šišmiša, pri čemu su u modelima svi mikroklimatski prediktori statistički značajno utjecali na pojavu i intenzitet aktivnosti (temperatura zraka, brzina vjetra, relativna vlažnost zraka, atmosferski tlak), kao i na većinu vrsta i fonetskih skupina. Time je izravno potvrđena hipoteza H3, prema kojoj temperatura, relativna vlažnost zraka i atmosferski tlak statistički značajno utječu na aktivnost šišmiša, uz temperaturu i vjetar kao primarne prediktore.

Temperatura zraka dosljedno pokazuje pozitivan odnos s pojavom aktivnosti, u skladu s većinom prethodnih istraživanja (npr. Lagrange i sur. 2009, Amorim i sur. 2012, Bender i Hartman 2015, Grider i sur. 2016, Smith i McWilliams 2016, Behr i sur. 2017, Barros i sur. 2021, Brabant i sur. 2021, Farnsworth i sur. 2021, Lagerveld i sur. 2021, Squires i sur. 2021, Laurence i sur. 2024). Ovaj obrazac uočen je za sve istraživane vrste i skupine te je u skladu s potencijalnim fiziološkim ograničenjima šišmiša, budući da niže temperature mogu povećati energetske troškove termoregulacije i smanjiti dostupnost kukaca (Taylor 1963, Jonason i sur. 2014, Bender i Hartman 2015, Leihy i Chown 2020, Fetnassi i sur. 2022, Hawkes i sur. 2023). Učinak temperature na intenzitet aktivnosti je također pozitivan, ali je slabiji u odnosu na pojavu aktivnosti i varijabilniji među vrstama. Važan doprinos ovog istraživanja odnosi se na prepoznavanje uloge dinamike mikroklimatskih čimbenika, pri čemu je veća varijabilnost temperature u pravilu povezana sa smanjenjem vjerojatnosti pojave aktivnosti.

Brzina vjetra pokazuje konzistentno negativan odnos kako s pojavom tako i s intenzitetom aktivnosti, što je također u skladu s većinom prethodnih istraživanja (npr. Lagrange i sur. 2009, Amorim i sur. 2012, Behr i sur. 2017, 2018, Wellig i sur. 2018, Barros i sur. 2021, Lagerveld i sur. 2021, Squires i sur. 2021). Iako je aktivnost zabilježena i pri brzinama vjetra do 22,4 m/s, najizraženija je pri niskim brzinama (< 2 – 3 m/s), dok se pri većim vrijednostima bilježi postupno smanjenje i pojave i

intenziteta aktivnosti. Veće brzine vjetra mogu povećati energetske troškove leta, smanjiti učinkovitost ehelokacije i dostupnost plijena, djelujući kao ograničavajući čimbenik (Thomas i Speakman 2003, Goerlitz 2018, Leihy i Chown 2020, de Jong i sur. 2021, Hawkes i sur. 2023). Ovaj obrazac potvrđen je u širem i užem setu podataka (pri čemu su rezultati na većem uzorku (set A) stabilniji i jasnije definirani), čime je potvrđena hipoteza H1, prema kojoj je brzina vjetra negativno korelirana s intenzitetom aktivnosti.

Promatrajući dinamiku promjena, veće promjene brzine vjetra dijelom su povezane sa smanjenjem vjerojatnosti pojave aktivnosti. Međutim, kod intenziteta aktivnosti uočeni su složeniji obrasci. Posebno se ističe blago povećanje očekivanog intenziteta ukupne aktivnosti šišmiša pri smanjenju, ali i povećanju intenziteta brzine vjetra, osobito kod vrste *H. savii* i skupine *P. kuhlii* / *P. nathusii*. Ovakav obrazac nije dokumentiran u literaturi i potencijalno predstavlja važan doprinos razumijevanju aktivnosti šišmiša. Iako ga je potrebno interpretirati s oprezom zbog manje zastupljenosti podataka u ekstremnim uvjetima, uočen je u modelima šireg i užeg seta podataka, što upućuje na to da i vrlo dinamični uvjeti potencijalno mogu lokalno povećati intenzitet aktivnosti. Takvi obrasci mogu biti povezani s promjenama u dostupnosti plijena ili povratkom u skloništa prije nego nastupe još nepovoljniji uvjeti.

Relativna vlažnost zraka pokazuje slabiji i varijabilniji odnos s aktivnošću šišmiša, koji nije ujednačen među vrstama i fonetskim skupinama. Kao najizraženiji učinak uočena je veća vjerojatnost pojave aktivnosti pri srednjim vrijednostima vlažnosti za vrstu *H. savii* i skupinu *P. kuhlii* / *P. nathusii*. Dosadašnja istraživanja koja potvrđuju učinak relativne vlažnosti malobrojna su, a i u njima se uglavnom bilježi slab, pozitivan ili nedosljedan odnos (Ciechanowski i sur. 2007, Barros i sur. 2021, Farnsworth i sur. 2021). Rezultati ovog istraživanja upućuju na to da relativna vlažnost prvenstveno djeluje u interakciji s temperaturom, a djelomično i s brzinom vjetra. U tom kontekstu, kombinacija toplih i vlažnih uvjeta može pogodovati većoj aktivnosti plijena, a time i većoj aktivnosti šišmiša. Dobiveni rezultati u skladu su i s nalazima Locatelli i sur. (2019), koji za vrstu *P. kuhlii* navode preferenciju umjerene vlažnosti tijekom ljeta i više vlažnosti u proljeće, što dodatno upućuje na ovisnost učinka vlažnosti o drugim okolišnim uvjetima.

Atmosferski tlak i njegove promjene pokazuju zanimljiv i kompleksan utjecaj na dinamiku aktivnosti šišmiša. Prema rezultatima istraživanja, veća vjerojatnost pojave aktivnosti povezana je s prijelazom iz negativnih prema blago pozitivnim anomalijama tlaka te s izraženijim padom tlaka. S intenzitetom aktivnosti anomalija tlaka pokazuje slabiji i složeniji odnos, ali je veći intenzitet povezan s većom varijabilnošću tlaka, što upućuje na moguću reakciju šišmiša na nadolazeće promjene vremenskih uvjeta. Dobiveni rezultati djelomično su u skladu s istraživanjima koja povezuju aktivnost šišmiša s povoljnim uvjetima pri višem tlaku (Bender i Hartman 2015, Smith i McWilliams 2016, Brabant i sur. 2021), ali istodobno upućuju na važnost promjena tlaka povezanih s promjenama u dostupnosti plijena ili povećanim intenzitetom hranjenja prije pogoršanja vremenskih uvjeta (Paige 1995, Turbill 2008).

Interakcije mikroklimatskih čimbenika do sada nisu detaljno istraživane, dok rezultati ovog istraživanja upućuju na to da se aktivnost šišmiša ne može u potpunosti objasniti isključivo pojedinačnim mikroklimatskim varijablama. Dobiveni obrasci sugeriraju da se veća aktivnost najčešće javlja pri kombinaciji viših temperatura, nižih brzina vjetra i umjereno do viših vrijednosti relativne vlažnosti. Slično navode i Barros i sur. (2021) koji također povezuju veću prisutnost šišmiša s navedenim uvjetima. Pri tome u ovom istraživanju intenzitet aktivnosti pokazuje izraženiji optimum u njihovom užem rasponu u odnosu na pojavu aktivnosti, odnosno veću osjetljivost na njihove specifične kombinacije. Promatrajući parcijalne učinke, pozitivan učinak temperature slabi s porastom brzine vjetra, što upućuje na to da više temperature ne mogu u potpunosti kompenzirati nepovoljan učinak jačeg vjetra. Također, učinak relativne vlažnosti nije jednoznačan, već ovisi o kombinaciji s temperaturom i brzinom vjetra. Ipak, ove obrasce treba tumačiti oprezno, osobito u rubnim dijelovima raspona prediktora, gdje je broj opažanja manji, a nesigurnost procjene veća. Na razini fonetskih skupina i vrsta interakcije pokazuju veću varijabilnost i između setova podataka, iako se mogu uočiti sličnosti u obrascima između vrste *H. savii* i fonetske skupine *P. kuhlii* / *P. nathusii*.

5.5 Utjecaj mikroklimе ovisno o vrstama i fonetskim skupinama (hipoteza H5)

Modeli koji su u okviru ovog istraživanja bili primijenjeni na ukupnu aktivnost šišmiša (bez obzira na vrstu ili fonetsku skupinu) primijenjeni su također i zasebno na dominantno bilježene vrste i fonetske skupine, odnosno na najčešće bilježenu

fonetsku skupinu *P. kuhlii* / *P. nathusii*, skupinu *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* te vrste *H. savii* i *T. teniotis*. Druge vrste nije bilo moguće uključiti u takve zasebne modele zbog ograničenog uzorka, pri čemu se dio njih očekivano bilježi u manjem intenzitetu (npr. *Myotis schreibersii*, *P. pipistrellus* i *P. pygmaeus*), dok se za preostali dio vrsta može očekivati znatno veća aktivnost na području Dalmacije, ali se teže detektiraju ultrazvučnim detektorima i češće lete bliže tlu (*Myotis*, *Plecotus* i *Rhinolophus*) (Barataud 2015, Roemer i sur. 2017). Unatoč tome, rezultati pokazuju da sličnosti u ekologiji vrsta i fonetskih skupina u pojedinim slučajevima rezultiraju sličnim obrascima njihovog odgovora na mikroklimu. Time se djelomično podupire hipoteza H5, prema kojoj šišmiši slične ekologije (tehnike leta, lova i eholokacije) pokazuju slične odgovore na mikroklimatske uvjete i njihove promjene. Sezonska dinamika pritom dodatno oblikuje ove odnose, zbog čega ju je pri interpretaciji utjecaja mikroklimе na pojedine vrste i skupine važno uzeti u obzir. Razlike među vrstama mogu se djelomično objasniti i razlikama u veličini tijela. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da su veće vrste koje ujedno brže lete (*Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*, *Tadarida*) pokazivale slabije ili varijabilnije odgovore na mikroklimatske čimbenike. Biološki je smisleno da takve vrste pokazuju veću toleranciju na nepovoljne mikroklimatske uvjete, dok su manje vrste osjetljivije, osobito na veće brzine vjetra (npr. *Pipistrellus*, *Hypsugo*) (Norberg i Rayner 1987).

Fonetske skupine, odnosno vrste sličnog glasanja, često koriste slične lovne strategije i pripadaju sličnim ekološkim nišama (Norberg i Rayner 1987, Schnitzler i Kalko 2001). U kontekstu veličine, morfologije i eholokacije, među analiziranim vrstama i fonetskim skupinama najbliži su fonetska skupina *P. kuhlii* / *P. nathusii* i vrsta *H. savii* (Barataud 2015, Dietz i sur. 2009, Dietz i Kiefer 2016, Rnjak i sur. 2023a). Pri tome se unutar skupine *P. kuhlii* / *P. nathusii* većina bilježenog glasanja vrlo vjerojatno odnosi na vrstu *P. kuhlii*, s obzirom na to da je u mediteranskoj regiji prisutna u visokom broju tijekom cijele godine i preferira slična lovna staništa kao i vrsta *H. savii*, dok se prisutnost vrste *P. nathusii* očekuje rjeđe, uglavnom tijekom sezonskih migracija i češće je vezana uz šumska staništa (Tvrtković 2017, Rnjak i sur. 2023a). Iz navedenog razloga najjasniji dokaz u prilog hipotezi H5 proizlazi iz sličnih obrazaca učinaka mikroklimе na vrste *H. savii* i skupinu *P. kuhlii* / *P. nathusii*, ne samo za osnovne prediktore (temperatura zraka i brzina vjetra), već i za relativnu vlažnost te prediktore dinamike brzine vjetra i atmosferskog tlaka. Upravo je kod navedenih vrsta

najjasnije izražen i već spomenuti U-oblik odnosa između dinamike brzine vjetra i intenziteta aktivnosti na užem i širem setu podataka (odnosno povećanje intenziteta aktivnosti pri izraženijem smanjenju i povećanju brzine vjetra). Takav odnos može se povezati s promjenama u dostupnosti plijena ili intenzivnijim hranjenjem prije pogoršanja vremenskih uvjeta te dodatno upućuje na slične reakcije ovih vrsta na dinamične mikroklimatske uvjete. Sličnost se očituje i u prethodno spomenutim interakcijskim učincima, pri čemu su u oba slučaja najizraženiji pozitivni učinci povezani s kombinacijom viših temperatura, slabijeg vjetra i umjereno visoke vlažnosti.

Nasuprot tome, skupina *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* pokazuje donekle blaže obrasce, odnosno slabije izražene odgovore na mikroklimatske čimbenike. Iako su smjerovi učinaka (temperatura, vjetar) slični kao kod ostalih skupina, intenzitet odgovora je manji, a interakcije slabije izražene. Ova skupina obuhvaća vrste koje koriste širi raspon visina i prostora te su morfologijom i strategijom lova dodatno prilagođeni brzom letu na većim visinama (Norberg i Rayner 1987), što može objasniti njihovu manju osjetljivost na pojedine mikroklimatske promjene. Također, prisutnost ove skupine češće je bilježena u vrijeme sezonskih migracija, kada šišmiši potencijalno toleriraju veće promjene u mikroklimatskim uvjetima (Dechmann i sur. 2017).

Vrsta *T. teniotis* najviše odstupa od ostalih skupina, pri čemu se najviše razlikuje i u ekologiji od drugih analiziranih vrsta i skupina. Tu vrstu karakterizira brz let na visinama i do 300 m iznad tla te sposobnost prelaska velikih udaljenosti tijekom jedne noći, ponekad i do 100 km (Dietz i Kiefer 2016, Kyheröinen i sur. 2019), što joj omogućuje da djelomično izbjegne nepovoljne lokalne mikroklimatske uvjete. Posljedično, njezini odgovori na mikroklimu su varijabilniji, manje konzistentni i slabije povezani s lokalnim uvjetima u usporedbi s ostalim skupinama.

5.6 Sezonska i noćna dinamika aktivnosti šišmiša

Rezultati istraživanja pokazali su da pojava aktivnosti šišmiša ima relativno stabilan i predvidljiv sezonski obrazac, dok je intenzitet aktivnosti znatno varijabilniji i osjetljiviji na trenutačne mikroklimatske uvjete, uz veću nesigurnost u procjeni. Zabilježena aktivnost šišmiša odgovara godišnjoj dinamici sličnih područja, pri čemu se najveća aktivnost europskih vrsta bilježi tijekom kasnog proljeća, u ljeto i ranu jesen (npr. Behr

i sur. 2017), a na području Mediterana u kasno ljeto i ranu jesen (npr. Sánchez-Navarro i sur. 2020). U skladu s time, na području Dalmacije potvrđeno je jasno povećanje vjerojatnosti pojave aktivnosti od proljeća prema ljetu, s maksimumom na prijelazu ljeta u jesen, koji se poklapa s razdobljem početka sezone parenja i sezonskih migracija šišmiša. Na područjima s blagim zimama, kao što je Dalmacija, šišmiši i zimi mogu biti aktivni tijekom toplijih, kraćih razdoblja (Barros i sur. 2017, 2021), što se pokazalo i u ovom istraživanju, ali je ta aktivnost i dalje vrlo mala u odnosu na ostatak godine.

Unatoč sličnostima, postoje i manja odstupanja od općenitog obrasca sezonske dinamike aktivnosti pojedinih vrsta i fonetskih skupina.

Skupina *P. kuhlii* / *P. nathusii* pokazuje razvučeniji sezonski obrazac s više lokalnih maksimuma, što upućuje na kontinuiranu aktivnost kroz sezonu, gdje se povećanje aktivnosti u vrijeme sezonskih migracija vjerojatno barem dijelom odnosi i na doprinos vrste *P. nathusii*. Vrsta *H. savii* pokazuje najveću vjerojatnost pojave tijekom ljeta, što potvrđuje prisutnost njenih lokalnih populacija na području Dalmacije.

Skupina *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* u većoj mjeri se javlja tijekom sezonskih migracija krajem ljeta i početkom jeseni. Pri tom vrste *Nyctalus* spp. i *V. murinus* migriraju na veće udaljenosti u navedenim razdobljima (Hutterer i sur. 2005).

Vrsta *T. teniotis* odstupa većom vjerojatnošću pojave u kasno proljeće i ranu jesen, uz pojavu i intenzitet aktivnosti raspoređene ravnomjernije tijekom noći, u odnosu na ostale vrste. Takav je rezultat očekivan s obzirom na znatno veći lovni doseg od ostalih vrsta zbog kojeg vjerojatno tijekom noći prolazi s većih udaljenosti od skloništa (Dietz i Kiefer 2016, Kyheröinen i sur. 2019).

Važan doprinos ovog istraživanja predstavlja i analiza aktivnosti unutar kvartila noći, budući da se u dosadašnjim istraživanjima aktivnost najčešće uspoređivala između cijelih noći. Procijenjeni ukupni odgovor modela pokazuje da je vjerojatnost pojave aktivnosti za većinu vrsta / skupina relativno ujednačena u prvom, drugom i trećem kvartilu noći, dok se u četvrtom kvartilu jasno smanjuje. Za razliku od toga, model intenziteta aktivnosti upućuje na to da početak (prvi kvartil) noći često predstavlja razdoblje najintenzivnije aktivnosti, ali i njene najveće varijabilnosti. To je posebno uočljivo za skupinu *P. kuhlii* / *P. nathusii* i vrstu *H. savii* čije lokalne populacije češće

love na istraživanim lokalitetima, u odnosu na skupinu *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio* i vrstu *T. teniotis* koje vjerojatno povremeno samo prelijeću područjem.

5.7 Utjecaj mikroklimе ovisno o noćnoj i sezonskoj aktivnosti (hipoteze H4, H6)

Dodatne analize interakcija mikroklimatskih prediktora s kvartilima noći i sezonom potvrđuju hipotezu H4 prema kojoj mikroklimatska uvjetovanost aktivnosti, najviše učinak temperature zraka, ovisi i o dobu noći i o sezonskoj aktivnosti šišmiša. Iako uključivanje interakcija s kvartilima noći i sezonom dovodi do poboljšanja prilagodbe modela, veličina tog poboljšanja je relativno mala, što upućuje na to da su osnovni odnosi između mikroklimе i aktivnosti šišmiša uglavnom stabilni kroz sezonu i tijekom noći, dok interakcije imaju sekundarnu ulogu u finom oblikovanju tih obrazaca.

Rezultati ovog istraživanja ukazuju da je aktivnost šišmiša na području Dalmacije oblikovana noćnim i sezonskim te mikroklimatskim čimbenicima, pri čemu noćna i sezonska dinamika predstavljaju temeljnu strukturu aktivnosti, dok mikroklimatski uvjeti dodatno utječu na njezinu pojavu i intenzitet, prvenstveno temperatura zraka i brzina vjetra kao primarni prediktori. U modelima pojave aktivnosti najveći udio objašnjene devijance (0,4034) tj. odstupanja u odnosu na nulti model zabilježen je za vrstu *H. savii*. Modeli intenziteta aktivnosti najčešće su objašnjavali veći udio devijance, s najvišom vrijednošću za vrstu *T. teniotis* (0,5791). Pri tom su julijanski dan, kvartili noći i svi mikroklimatski prediktori statistički značajno utjecali na pojavu i intenzitet aktivnosti, kao i na većinu vrsta i fonetskih skupina. Time se potvrđuje hipoteza H6, budući da se znatan dio varijabilnosti aktivnosti može objasniti numeričkim modelima koji uključuju mikroklimatske uvjete, redni broj dana u godini i doba noći.

5.8 Prostorna specifičnost (hipoteza H7)

Rezultati ovog istraživanja potvrđuju hipotezu H7, prema kojoj su numerički modeli aktivnosti šišmiša prostorno specifični, odnosno dodatno ovisni o lokalnim čimbenicima koji nisu u potpunosti obuhvaćeni uključenim prediktorima. Deskriptivna analiza pokazala je da se ukupna razina aktivnosti razlikuje među lokalitetima, a

rezultati modeliranja upućuju na to da dio tih razlika ostaje prisutan i nakon uključivanja sezonske dinamike, doba noći i mikroklimatskih prediktora.

Uključivanje slučajnog učinka kombinacije lokalitet_godina omogućilo je kvantifikaciju ove dodatne varijabilnosti, pri čemu procjene ukazuju na odstupanja u razini aktivnosti između pojedinih lokaliteta i godina. Takva odstupanja, nakon kontrole za uključene prediktore, upućuju na postojanje dodatne prostorno-vremenske varijabilnosti koja nije objašnjena modelom, a može biti povezana s lokalnim ekološkim čimbenicima, poput dostupnosti skloništa (npr. pukotine u stijenama i suhozidima kod vrsta *P. kuhlii* i *H. savii*) ili sezonskim migracijama. U modelu intenziteta aktivnosti s negativno binomnom distribucijom uočena su određena odstupanja reziduala, što odražava kratkotrajne epizode vrlo intenzivne aktivnosti koje je teško opisati modelima.

Važan nalaz odnosi se i na prostorni kontekst istraživanja. Iako su se istraživani lokaliteti na području Dalmacije pokazali reprezentativni za otvorena staništa mediteranske biogeografske regije, NMDS analiza pokazala je da se za šumska staništa može očekivati donekle drugačiji sastav vrsta u odnosu na odabrane lokalitete, ali ne u istoj mjeri kao u odnosu na alpinsku regiju, što potvrđuje da obrasci aktivnosti nisu univerzalni. Budući da pojedine vrste i fonetske skupine mogu odstupati od općih obrazaca aktivnosti i slabije ili jače reagirati na mikroklimatske uvjete, dio varijabilnosti u aktivnosti vrsta na lokalitetima može se pripisati i razlikama u sastavu zajednica, a obilježja staništa, poput šumskog pokrova, dodatno mogu ublažiti učinak mikroklimatskih čimbenika.

Zaključno, rezultati potvrđuju da su modeli aktivnosti šišmiša prostorno specifični te da, uz opće obrasce sezonske i noćne dinamike i učinke mikroklimе, lokalni čimbenici i sastav vrsta mogu značajno doprinijeti vremenskoj varijabilnosti, kao i intenzitetu te aktivnosti. Time se naglašava potreba za velikim oprezom pri prijenosu predikcijskih modela na druga područja u budućim istraživanjima (posebno bez njihove provjere lokalno specifičnim mjerenjima) te općenito važnost lokalno utemeljenih i višegodišnjih analiza na temelju prisutnih vrsta i njihove dinamike.

5.9 Utjecaj relativne mjesečine na aktivnost šišmiša

Relativna mjesečina uključena je kao dodatni okolišni čimbenik koji potencijalno može utjecati na aktivnost šišmiša, iako nije bila primarni fokus istraživanja. Za razliku od

ostalnih prediktora, nije pokazala značajan učinak na pojavu aktivnosti, dok je njezin utjecaj na intenzitet aktivnosti slab i ograničen. Dobiveni rezultati u skladu su s većinom istraživanja provedenih u umjerenj klimatskoj zoni, koja ne potvrđuju postojanje izražene „lunarne fobije“ kod europskih šišmiša (npr. Karlsson i sur. 2002, Roeleke i sur. 2018, Apoznański i sur. 2024).

Slab pozitivan učinak relativne mjesečine na intenzitet aktivnosti šišmiša uočen kod pojedinih vrsta može se povezati s indirektnim utjecajem na dostupnost plijena, pri čemu reakcije kukaca na mjesečinu nisu jednoznačne (McGeachie 1989). Dodatno, treba uzeti u obzir da stvarna razina osvjettljenja ovisi i o naoblaci, koja nije uključena u ovo istraživanje. U tom smislu, mjesečina se može interpretirati kao sekundarni čimbenik koji ne određuje hoće li se aktivnost pojaviti, ali kod nekih vrsta potencijalno može utjecati na njezin intenzitet unutar već povoljnih uvjeta i samo u manjoj mjeri.

5.10 Metodološka ograničenja

Unatoč velikom uzorku i visokoj vremenskoj rezoluciji podataka, ovo istraživanje ima nekoliko metodoloških ograničenja koja je potrebno uzeti u obzir pri interpretaciji rezultata.

Budući da su podaci prikupljeni kontinuiranim praćenjem aktivnosti kroz vrijeme, autokorelacija opažanja predstavlja potencijalni čimbenik koji može utjecati na rezultate i teško ju je u potpunosti eliminirati. Prostorna i vremenska ovisnost opažanja u ovom istraživanju smanjena je odabirom lokaliteta snimanja, pri čemu su mikrofoni ultrazvučnih detektora postavljeni na većim visinama i udaljeni od vodenih površina, šumskih staništa i potencijalnih skloništa. Također, robusnost modela, s obzirom na odabranu zavisnu varijablu aktivnosti šišmiša (agregiranu u kliznom vremenskom intervalu od 1 h za svaki 10-minutni interval), dodatno je provjerena usporedbom s modelom reduciranog skupa podataka koji uključuje svaki šesti vremenski interval.

Podaci su prikupljeni na različitim lokalitetima i u različitim godinama, ne uvijek u svim mjesecima. Ipak, s obzirom na veliki broj opažanja, korištenjem indeksa aktivnosti koji uzima u obzir aktivnost po jedinici vremena snimanja te primjenom slučajnog učinka lokalitet_godina u multivarijantnim modelima (koji djelomično kontrolira varijabilnost između lokaliteta i vremenskih razdoblja), ovi su problemi ublaženi u najvećoj mogućoj mjeri.

Razlike u visinama mikrofona među lokalitetima mogle su utjecati na detektabilnost pojedinih vrsta, osobito rodova koji češće lete bliže tlu i vegetaciji i slabije se detektiraju ultrazvučnim detektorima (Barataud 2015, Roemer i sur. 2017), a time potencijalno i na rezultate završnog modela ukupne aktivnosti šišmiša. Međutim, dopunska NMDS analiza pokazala je da su nakon isključivanja navedenih rodova (*Myotis*, *Rhinolophus*, *Plecotus* i *Barbastella*) razlike među lokalitetima izraženije u odnosu na biogeografske regije i fizionomske tipove vegetacije nego u odnosu na visinu postavljanja mikrofona.

Iako korišteni GAMM modeli omogućuju fleksibilno modeliranje nelinearnih odnosa i interakcija, njihova interpretacija, osobito interakcijskih učinaka, zahtijeva oprez. Manji broj opažanja u pojedinim vrijednostima prediktora povećava nesigurnost procjena, što se očituje u širim intervalima pouzdanosti i mogućim artefaktima u modeliranim obrascima, koje nije uvijek lako razlikovati od stvarnih učinaka (npr. nagli porasti ili izraženi nelinearni oblici funkcija). Robusnost glavnih zaključaka stoga je potvrđena konzistentnošću rezultata između modela s većim uzorkom (set A) i podskupa s većim brojem mikroklimatskih prediktora (set B).

Distribucija zavisne varijable s velikim udjelom nula i jedinica ograničava sposobnost modela intenziteta aktivnosti da precizno predvidi vremenske intervale i noći s visokom aktivnošću, osobito u kontekstu sezonskih migracija i drugih ekoloških i lokalnih čimbenika. S obzirom na to da aktivnost šišmiša može značajno varirati tijekom pojedinih noći, u budućim istraživanjima potrebno je zadržati oprez pri donošenju zaključaka na temelju akustičnih istraživanja provedenih tijekom kraćih vremenskih razdoblja, što ističu i drugi autori (npr. Bender i Hartman 2015).

Također, iako su u modele uključeni ključni mikroklimatski čimbenici (temperatura zraka, brzina vjetra, relativna vlažnost zraka i atmosferski tlak), neki dodatni okolišni čimbenici nisu bili dostupni za analizu, poput naoblake i smjera vjetra. Pritom smjer vjetra može biti važan čimbenik u optimizaciji energetske troškova leta, osobito tijekom migracija (Dechmann i sur. 2017, Lagerveld i sur. 2021). Intenzitet oborine u ovom istraživanju također nije uključen u multivarijatne modele zbog ograničenog uzorka. Na aktivnost šišmiša može utjecati i magla, koja može smanjiti učinkovitost orijentacije pomoću eholokacije. Međutim, dosadašnja istraživanja zabilježila su smanjenu aktivnost uglavnom u uvjetima jake magle i to uglavnom kod specijaliziranih vrsta koje skupljaju plijen s površine vode (Ciechanowski i sur. 2007). Dodatno, u

modele nisu uključeni čimbenici poput dostupnosti plijena (kukaca), koju je teško kvantificirati u stupcu zraka, niti raznolikost staništa, budući da su lokaliteti ciljano odabrani izvan šumskih staništa i udaljeni od vodenih staništa kako bi se smanjila pseudoreplikacija i olakšala determinacija vrsta i fonetskih skupina.

Jednako tako, dio vrsta prisutnih na istraživanom području nije uključen u analizu zbog nedovoljnog broja opažanja ili nemogućnosti pouzdane identifikacije na temelju analize glasanja (Barataud 2015). Utjecaj mikroklimе može ovisiti i o starosti, spolu i reproduktivnom statusu jedinki (Bender i Hartman 2015), što nije bilo obuhvaćeno ovim istraživanjem.

U budućim istraživanjima preporučuje se uključivanje dodatnih okolišnih varijabli te primjena naprednijih pristupa modeliranju, primjerice strojnog učenja, koji bi mogli omogućiti još preciznije modeliranje i predviđanje složenih odnosa pojavnosti i aktivnosti šišmiša u promjenjivim okolišnim uvjetima.

5.11 Implikacije dobivenih rezultata za zaštitu i očuvanje populacija šišmiša

Rezultati istraživanja daju važan doprinos teorijskom razumijevanju ekologije šišmiša na području Dalmacije i općenito mediteranske biogeografske regije, ali i praktičnu osnovu za razvoj preciznijih mjera očuvanja i upravljanja, osobito u kontekstu klimatskih promjena i procjene utjecaja vjetroelektrana.

Utvrđena visoka osjetljivost aktivnosti na mikroklimatske uvjete, osobito temperaturu i brzinu vjeta, potvrđuje osjetljivost šišmiša na klimatske promjene. Dodatno, rezultati ukazuju da se pojava aktivnosti može ostvariti u širem rasponu mikroklimatskih uvjeta, dok se intenzivna aktivnost ostvaruje u relativno uskom rasponu tih uvjeta. To znači da promjene okolišnih uvjeta ne moraju nužno eliminirati aktivnost, ali mogu značajno smanjiti njezin intenzitet i time utjecati na uspješnost preživljavanja pojedinih vrsta osjetljivijih na mikroklimatske promjene.

Važno je istaknuti i utvrđeno kritično razdoblje kraja ljeta i početka jeseni u kojem je vjerojatnost pojave šišmiša na području Dalmacije najveća, uz najveći intenzitet i varijabilnost aktivnosti za većinu vrsta i fonetskih skupina u ranijim dijelovima noći, što ima direktne implikacije za planiranje mjera ublažavanja negativnih utjecaja na šišmiše

tijekom rada vjetroelektrana. Navedeno je razdoblje već uočeno kao kritično, u kojem se bilježi najveći broj stradalih šišmiša (Rnjak i sur. 2023b). Istovremeno, integrirani pristup koji kombinira visoku vremensku rezoluciju podataka i multivarijatno modeliranje može poslužiti kao temelj za razvoj preciznijih mjera ublažavanja negativnih utjecaja na aktivnost šišmiša, prilagođenih lokalnim specifičnim uvjetima i potrebama lokalnih, kao i migratornih, populacija šišmiša.

6 ZAKLJUČAK

U ovom je istraživanju na temelju opsežnog terenskog uzorka analiziran utjecaj mikroklimatskih uvjeta na aktivnost šišmiša na području Dalmacije, kao reprezentativnog dijela mediteranske biogeografske regije, uzimajući pri tome u obzir noćnu i sezonsku dinamiku aktivnosti šišmiša te prostorno specifične učinke lokaliteta i godina istraživanja, a sve sa ciljem testiranja postavljenih hipoteza (vidi poglavlje 1.1) Nakon provedenog istraživanja mogu se donijeti sljedeći zaključci:

1. Pojava aktivnosti bolje je opisana stabilnijim mikroklimatskim uvjetima kroz dulje vremenske intervale i ima stabilniju sezonsku dinamiku, dok je intenzitet aktivnosti osjetljiviji na kratkoročne promjene mikroklimata i varijabilniji kroz godinu uz slabije predvidljivu sezonsku dinamiku.
2. Mikroklimatski čimbenici imaju važnu ulogu u oblikovanju aktivnosti šišmiša na području Dalmacije, čime je potvrđena hipoteza **H3**. Temperatura zraka i brzina vjetra pokazali su se kao najsnažniji i najdosljedniji prediktori, dok su učinci relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka bili slabiji i složeniji.
3. Temperatura zraka pokazala je pozitivan odnos s pojavom aktivnosti svih analiziranih vrsta i skupina, dok je njezin učinak na intenzitet aktivnosti bio slabiji i varijabilniji.
4. Prosječna brzina vjetra pokazala je konzistentno negativan odnos i s pojavom i intenzitetom aktivnosti, čime je potvrđena hipoteza **H1**. Aktivnost je bila najveća pri niskim, a smanjivala se pri većim brzinama. Istodobno je za pojedine vrste uočen složeniji učinak dinamike, odnosno promjene brzine vjetra.
5. Vrlo slabe oborine dopuštaju posve ograničenu aktivnost, dok već umjerenije dovode do naglog smanjenja ili potpunog izostanka aktivnosti, čime je potvrđena hipoteza **H2**.
6. Analiza po vrstama i fonetskim skupinama pokazala je da šišmiši slične ekologije imaju slične, ali ne potpuno jednake odgovore na mikroklimatske uvjete. Time je hipoteza **H5** djelomično potvrđena.

7. Sezonska i noćna dinamika imaju važnu ulogu u oblikovanju aktivnosti šišmiša. Dodatne analize pokazale su da učinak mikroklimatskih čimbenika, osobito temperature zraka, djelomično ovisi o dobu noći i sezoni, čime je potvrđena hipoteza **H4**.

8. Znatno udio varijabilnosti aktivnosti šišmiša mogao se objasniti modelima koji uključuju mikroklimatske prediktore, kvartile noći i redni (julijanski) dan u godini, čime je potvrđena hipoteza **H6**.

9. Rezultati su pokazali dodatnu prostorno-vremensku varijabilnost aktivnosti između kombinacija lokalitet_godina, što potvrđuje hipotezu **H7**, prema kojoj su multivarijantni modeli prostorno specifični, odnosno lokalno dodatno ovisni o drugim čimbenicima.

10. Relativna mjesečina, koja je bila dodatno istražena (izvan izvorno postavljenih hipoteza), nije pokazala značajan učinak na pojavu aktivnosti, a njezin učinak na intenzitet bio je slab, što upućuje na to da je riječ o sekundarnom čimbeniku koji ne određuje hoće li se aktivnost pojaviti, ali kod nekih vrsta potencijalno može utjecati na njezin intenzitet unutar već povoljnih uvjeta.

7 POPIS LITERATURE

- 1 Alegro, A. (2018): Vegetacija Hrvatske. Sveučilišna skripta. Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- 2 Amorim, F., Rebelo, H., Rodrigues, L. (2012): Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. *Acta Chiropterologica* 14(2): 439–457.
- 3 Antolović, J., Flajšman, E., Frković, A., Grgurev, M., Grubešić, M., Hamidović, D., Holcer, D., Pavlinić, I., Vuković, M., Tvrtković, N. (2006): Crvena knjiga sisavaca Hrvatske. Ministarstvo kulture, Državni zavod za zaštitu prirode (DZZP), Zagreb.
- 4 Antičić, O., Kušan, V., Jelaska, S.D., Bukovec, D., Križan, J., Bakran-Petricioli, T., Gottstein-Matočec, S., Pernar, R., Hečimović, Ž., Janeković, I., Grgurić, Z., Hatić, D., Major, Z., Mrvoš, D., Peternel, H., Petricioli, D., Tkalčec, S. (2005): Kartiranje staništa Republike Hrvatske (2000. – 2004.). <https://biportal.hr/gis/>
- 5 Apoznański, G., Tuff, F., Carr, A., Rachwald, A., Marszałek, E., Marszałek, T., Błesznowska, J., Kokurewicz, T. (2024): Absence of lunar phobia in European swarming vespertilionid bats. *Scientific Reports* 14(1): 2675.
- 6 Appel, G., López-Baucells, A., Magnusson, W.E., Bobrowiec, P.E.D. (2019): Temperature, rainfall, and moonlight intensity effects on activity of tropical insectivorous bats. *Journal of Mammalogy* 100(6): 1889–1900.
- 7 Arnett, E.B., Huso, M.M., Schirmacher, M.R., Hayes, J.P. (2011): Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(4): 209–214.
- 8 Barataud, M. (2015): Acoustic ecology of European bats. Species identification, study of their habitats and foraging behaviour. Biotopie, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
- 9 Bardi, A., Papini, P., Quaglino, E., Biondi, E., Topić, J., Milović, M., Pandža, M., Kaligarić, M., Oriolo, G., Roland, V., Batina, A., Kirin, T. (2016): Karta prirodnih i poluprirodnih ne-šumskih kopnenih i slatkovodnih staništa Republike Hrvatske. AGRISTUDIO, TEMI, TIMESIS, HAOP, Zagreb. <https://biportal.hr/gis/>

- 10 Barova, S., Streit, A. (ur.) (2018): Action plan for the conservation of all bat species in the European Union 2019 – 2024. European Commission, UNEP/EUROBATS, Bonn.
- 11 Barros, P., Faria, S., Pereira, M., Santos, J.A., Cabral, J.A. (2021): How winter prevailing weather conditions influence the bat activity patterns? Hints from a Mediterranean region. *Hystrix the Italian Journal of Mammalogy* 32(1): 27–36.
- 12 Barros, P.A., Ribeiro, C., Cabral, J.A. (2017): Winter Activity of Bats in Mediterranean Peri-Urban Deciduous Forests. *Acta Chiropterologica* 19(2): 367–377.
- 13 Behr, O., Brinkmann, R., Hochradel, K., Mages, J., Korner-Nievergelt, F., Niermann, I., Reich, M., Simon, R., Weber, N., Nagy, M. (2017): Mitigating bat mortality with turbine-specific curtailment algorithms: A model based approach, U: Köppel, J. (ur.), *Wind Energy and Wildlife Interactions*. Springer International Publishing, Berlin, pp. 135–160.
- 14 Behr, O., Brinkmann, R., Hochradel, K., Mages, J., Korner-Nievergelt, F., Reinhard, H., Simon, R., Stiller, F., Weber, N., Nagy, M. (2018): Bestimmung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen in der Planungspraxis (RENEBAT III) – Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Report to the German Federal Ministry of Economics.
- 15 Bender, M.J., Hartman, G.D. (2015): Bat activity increases with barometric pressure and temperature during autumn in central Georgia. *Southeastern Naturalist* 14(2): 231–242.
- 16 Berková, H., Zúkal, J. (2010): Cave visitation by temperate zone bats: Effects of climatic factors. *Journal of Zoology* 280(4): 387–395.
- 17 Bognar, A. (2001): Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. *Acta Geographica Croatica* 34: 7–29.
- 18 Boyles, J.G. (2007): Describing roosts used by forest bats: the importance of microclimate. *Acta Chiropterologica* 9(1): 297–303.
- 19 Boyles, J.G., Dunbar, M.B., Storm, J.J., Brack, V., Jr (2007): Energy availability influences microclimate selection of hibernating bats. *Journal of Experimental Biology* 210(24): 4345–4350.

- 20 Brabant, R., Laurent, Y., Jonge Poerink, B., Degraer, S. (2021): The relation between migratory activity of *Pipistrellus* bats at sea and weather conditions offers possibilities to reduce offshore wind farm effects. *Animals* 11(12): 3457.
- 21 Burnham, K.P., Anderson, D.R. (2002): Model selection and multimodel inference. A practical information-theoretic approach. Springer, New York.
- 22 Chaverri, G., Quirós, O.E. (2017): Variation in echolocation call frequencies in two species of free-tailed bats according to temperature and humidity. *The Journal of the Acoustical Society of America* 142(1): 146–150.
- 23 Ciechanowski, M., Zajac, T., Biłas, A., Dunajski, R. (2007): Spatiotemporal variation in activity of bat species differing in hunting tactics: Effects of weather, moonlight, food abundance, and structural clutter. *Canadian Journal of Zoology* 85(12): 1249–1263.
- 24 Çoraman, E., Dundarova, H., Dietz, C., Mayer, F. (2020): Patterns of mtDNA introgression suggest population replacement in Palaearctic whiskered bat species. *Royal Society Open Science* 7(6): 191805.
- 25 Corder, G.W., Forman, D.I. (2014): Nonparametric statistics. A step-by-step approach. Second edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- 26 Czenze, Z.J., Smit, B., van Jaarsveld, B., Freeman, M.T., McKechnie, A.E. (2022): Caves, crevices and cooling capacity: Roost microclimate predicts heat tolerance in bats. *Functional Ecology* 36(1): 38–50.
- 27 Danthanarayana, W. (1976): Flight thresholds and seasonal variations in flight activity of the light-brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walk.) (Tortricidae), in Victoria, Australia. *Oecologia* 23(4): 271–282.
- 28 de Framond, L., Reininger, V., Goerlitz, H.R. (2023): Temperate bats may alter calls to partially compensate for weather-induced changes in detection distance. *The Journal of the Acoustical Society of America* 153(5): 2867–2877.
- 29 de Jong, J., Millon, L., Håstad, O., Victorsson, J. (2021): Activity pattern and correlation between bat and insect abundance at wind turbines in South Sweden. *Animals* 11: 3269.
- 30 Dechmann, D.K.N., Wikelski, M., Ellis-Soto, D., Safi, K., O'Mara, M.T. (2017): Determinants of spring migration departure decision in a bat. *Biology Letters* 13(9): 20170395.
- 31 DGU (2023): Geoportal Državne geodetske uprave (DGU). <https://geoportal.dgu.hr>

- 32 Dietz, C., Kiefer, A. (2016): Bats of Britain and Europe. Bloomsbury Publishing, London.
- 33 Dietz, C., von Helversen, O., Nill, D. (2009): Bats of Britain, Europe and northwest Africa. A & C Black, London.
- 34 EEA (2020): Conservation status of habitat types and species: Datasets from Article 17: Habitats Directive 92/43/EEC reporting (2013-2018) – PUBLIC VERSION – Aug. 2020. <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/d8b47719-9213-485a-845b-db1bfe93598d?activeAccordion=1082742>
- 35 Farnsworth, A., Horton, K., Heist, K., Bridge, E., Diehl, R., Frick, W., Kelly, J., Stepanian, P. (2021): The Role of regional-scale weather variables in predicting bat mortality and bat vocalizations: Potential for use in the development of smart curtailment algorithms. AWWI Technical Report. A product of the Wind Wildlife Research Fund. American Wind Wildlife Institute, USA, Washington, DC.
- 36 Fenton, M.B., Simmons, N.B. (2015): Bats: A world of science and mystery. University of Chicago Press, Chicago.
- 37 Fetnassi, N., Ude, K., Kull, A., Tammaru, T. (2022): Weather sensitivity of sugar bait trapping of nocturnal moths: A case study from Northern Europe. *Insects* 13(12): 1087.
- 38 Fialas, P.C., Santini, L., Russo, D., Amorim, F., Rebelo, H., Novella-Fernandez, R., Marques, F., Domer, A., Vella, A., Martinoli, A., Figurek, A., Tsoar, A., Sandor, A., Ibanez, C., Korine, C., Kerbiriou, C., Voigt, C., Mifsud, C., Jéré, C., Ridha, D., Preatoni, D., Hamidović, D., Tidenberg, E., Çoraman, E., Mathews, F., Lison, F., Joanna, F., Petersons, G., Loumassine, H., Garin, I., Csősz, I., Liira, J., Juste, J., Julien, J.F., Van Der Kooij, J., Josić, D., Aihartza, J., Eldegard, K., Phelps, K., Olival, K.J., Kipson, M., Ancillotto, L., Grzegorz, L., Barti, L., Salazar, L.C., Bosso, L., Rodrigues, L., Hamel, L., Uhrin, M., Mas, M., Cerekovic, N., Toshkova, N., Roche, N., Kalda, O., Aizpurua, O., Georgiakakis, P., Kanuch, P., Presetnik, P., Bilgin, R., McKay, R.A., Rnjak, D., Rnjak, G., Ireneusz, R., Sørås, R., Robert, S., Aulagnier, S., Kramer-Schadt, S., Gazaryan, S., Bücs, S., Yorulmaz, T., Stjernberg, T., Liukko, U., Nistoreanu, V., Vintulis, V., Radchuk, V., Puig-Montserrat, X., Bas, Y., Zagmajster, M., Zegarek, M., Zrnčić, V., Razgour, O. (2025): Changes in community

- composition and functional diversity of European bats under climate change. *Conservation Biology* 39(4): e70025.
- 39 Fjellidal, M.A., Wright, J., Stawski, C. (2021): Nightly torpor use in response to weather conditions and individual state in an insectivorous bat. *Oecologia* 197: 129–142.
 - 40 Frick, W.F., Stepanian, P.M., Kelly, J.F., Howard, K.W., Kuster, C.M., Kunz, T.H., Chilson, P.B. (2012): Climate and weather impact timing of emergence of bats. *PLoS ONE* 7(8): e42737.
 - 41 Goerlitz, H.R. (2018): Weather conditions determine attenuation and speed of sound: Environmental limitations for monitoring and analyzing bat echolocation. *Ecology and Evolution* 8(10): 5090–5100.
 - 42 Gorman, K.M., Barr, E.L., Ries, L., Nocera, T., Ford, W.M. (2021): Bat activity patterns relative to temporal and weather effects in a temperate coastal environment. *Global Ecology and Conservation* 30: e01769.
 - 43 Grider, J.F., Larsen, A.L., Homyack, J.A., Kalcounis-Rueppell, M.C. (2016): Winter activity of Coastal Plain populations of bat species affected by White-nose syndrome and wind energy facilities. *PLOS ONE* 11(11): e0166512.
 - 44 Griffin, D.R. (1971): The importance of atmospheric attenuation for the echolocation of bats (Chiroptera). *Animal Behaviour* 19: 55–61.
 - 45 Hamidović, D., Josić, D., Kipson, M., Komerički, A., Pintar, V., Rnjak, D., Rnjak, G., Zrnčić, V., Zadravec, M., Žvorc, P., Tvrtković, N. (2019): Prva procjena stanja očuvanosti šišmiša - Chiroptera u Republici Hrvatskoj, Zagreb.
 - 46 Hawkes, W.L., Davies, K., Weston, S., Moyes, K., Chapman, J.W., Wotton, K.R. (2023): Bat activity correlated with migratory insect bioflows in the Pyrenees. *Royal Society Open Science* 10(8): 230151.
 - 47 Hayes, J.P. (1997): Temporal variation in activity of bats and the design of echolocation-monitoring studies. *Journal of Mammalogy* 78(2): 514–524.
 - 48 Horn, J.W., Arnett, E.B., Kunz, T.H. (2008): Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *Journal of Wildlife Management* 72(1): 123–132.
 - 49 Hutterer, R., Ivanova, T., Meyer-Cords, C., Rodrigues, L. (2005): Bat migration in Europe. A review of banding data and literature. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn.
 - 50 IPCC (2019): Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food

security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystem. Intergovernmental Panel on Climate Change.

- 51 IUCN (2025): The IUCN Red List of Threatened Species, Version 2025-2. <https://www.iucnredlist.org>
- 52 Jonason, D., Franzén, M., Ranius, T. (2014): Surveying moths using light traps: Effects of weather and time of year. PLoS ONE 9(3): e92453.
- 53 Jones, G., Jacobs, D.S., Kunz, T.H., Wilig, M.R., Racey, P.A. (2009): Carpe noctem: The importance of bats as bioindicators. Endangered Species Research 8: 93–115.
- 54 Josić, D., Çoraman, E., Waurick, I., Franzenburg, S., Ancillotto, L., Bajić, B., Budinski, I., Dietz, C., Görföl, T., Hayden Bofill, S.I., Presetnik, P., Russo, D., Spada, M., Zrnčić, V., Blom, M.P.K., Mayer, F. (2024): Cryptic hybridization between the ancient lineages of Natterer's bat (*Myotis nattereri*). Molecular Ecology 33(13): e17411.
- 55 Karlsson, B.-L., Eklöf, J., Rydell, J. (2002): No lunar phobia in swarming insectivorous bats (family Vespertilionidae). Journal of Zoology 256(4): 473–477.
- 56 Kerth, G., Wolf, J.M. (2025): In-situ responses of temperate-zone bats to climate change. Annals of the New York Academy of Sciences 1546(1): 23–34.
- 57 Koch, M., Manecke, J., Burgard, J.P., Münnich, R., Kugelschafter, K., Kiefer, A., Veith, M. (2023): How weather triggers the emergence of bats from their subterranean hibernacula. Scientific Reports 13: 6344.
- 58 Kyheröinen, E.-M., Aulagnier, S., Dekker, J., Dubourg-Savage, M.-J., Ferrer, B., Gazaryan, S., Georgiakakis, P., Hamidović, D., Harbusch, C., Haysom, K., Jahelková, H., Kervyn, T., Koch, M., Lundy, M., Marnell, F., Mitchell-Jones, A., Pir, J., Russo, D., Schofield, H., Syvertsen, P.O., Tsoar, A. (2019): Publication Series No. 9 Guidance on the conservation and management of critical feeding areas and commuting routes for bats. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn.
- 59 Lagerveld, S., De Vries, P., Harris, J., Parsons, S., Debusschere, E., Hüppop, O., Brust, V., Schmaljohann, H. (2024): Migratory movements of bats are shaped by barrier effects, sex-biased timing and the adaptive use of winds. Movement Ecology 12: 81.

- 60 Lagerveld, S., Jonge Poerink, B., Geelhoed, S.C.V. (2021): Offshore occurrence of a migratory bat, *Pipistrellus nathusii*, depends on seasonality and weather conditions. *Animals* 11(12): 3442.
- 61 Lagrange, H., Roussel, E., Ughetto, A.-L., Prié, V., Boulnois, R., Haquart, A., Melki, F. (2009): Chirotec - Bilan des tests d'asservissement sur le parc de Bouin (Assessment of the control tests on Bouin Park). BIOTOPE, Mèze.
- 62 Lang, A.B., Kalko, E.K.V., Römer, H., Bockholdt, C., Dechmann, D.K.N. (2006): Activity levels of bats and katydids in relation to the lunar cycle. *Oecologia* 146(4): 659–666.
- 63 Laurence, F., Jauneau, M., Sottejeau, V., Cassagnes, P. (2024): Winter activity of bats in a peri-urban forest: How do climatic conditions matter? *Acta Chiropterologica* 26(2): 249–260.
- 64 Law, B., Kathuria, A., Brassil, T. (2025): Dynamic changes in bat activity over two decades following logging, changing climate, and a severe megafire. *Conservation Science and Practice* 7(4): e70040.
- 65 Lebl, K., Brugger, K., Rubel, F. (2013): Predicting *Culex pipiens / restuans* population dynamics by interval lagged weather data. *Parasites & Vectors* 6(1): 129.
- 66 Leihy, R.I., Chown, S.L. (2020): Wind plays a major but not exclusive role in the prevalence of insect flight loss on remote islands. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 287: 20202121.
- 67 Lionello, P., Scarascia, L. (2018): The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change* 18: 1481–1493.
- 68 Locatelli, A.G., Ciuti, S., Presetnik, P., Toffoli, R., Teeling, E. (2019): Long-term monitoring of the effects of weather and marking techniques on body condition in the Kuhl's Pipistrelle Bat, *Pipistrellus kuhlii*. *Acta Chiropterologica* 21(1): 87–102.
- 69 LZMK (2026): Dalmacija. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža (LZMK) (pristupljeno 1.2.2026). <https://www.enciklopedija.hr/clanak/dalmacija>
- 70 Magaš, D. (2013): Geografija Hrvatske. Meridijani, Zagreb.
- 71 Măntoiu, D.Ș., Kravchenko, K., Lehnert, L.S., Vlaschenko, A., Moldovan, O.T., Mirea, I.C., Stanciu, R.C., Zaharia, R., Popescu-Mirceni, R., Nistorescu, M.C.,

- Voigt, C.C. (2020): Wildlife and infrastructure: Impact of wind turbines on bats in the Black Sea coast region. *European Journal of Wildlife Research* 66: 44.
- 72 Mas, M., Flaquer, C., Puig-Montserrat, X., Porres, X., Rebelo, H., López-Baucells, A. (2022): Winter bat activity: The role of wetlands as food and drinking reservoirs under climate change. *Science of The Total Environment* 828: 154403.
- 73 Massaad, M., Bueno, R.D.S., Bentaleb, I., Mantia, T.L. (2022): Priorities and gaps in Mediterranean bat research evidence: A systematic review for the early twenty-first century. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy* 33(2): 113–122.
- 74 Matthews, J., Claireau, F., Dekker, J., Gazaryan, S., Karapandža, B., Matthews, F., Presetnik, P., Raynor, R., Roemer, C. (2024): Publication Series No. 10 Guidance on the consideration of bats in traffic infrastructure projects. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn.
- 75 McGeachie, W.J. (1989): The effects of moonlight illuminance, temperature and wind speed on light-trap catches of moths. *Bulletin of Entomological Research* 79(2): 185–192.
- 76 Meeus, J.H. (1991): *Astronomical algorithms*. Willmann-Bell Inc, Richmond.
- 77 Møller, A.P. (2013): Long-term trends in wind speed, insect abundance and ecology of an insectivorous bird. *Ecosphere* 4(1): 6.
- 78 Morrison, D.W. (1978): Lunar phobia in a neotropical fruit bat, *Artibeus jamaicensis* (Chiroptera: Phyllostomidae). *Animal Behaviour* 26: 852–855.
- 79 Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J. (2000): Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403(6772): 853–858.
- 80 MZOZT (2026): Bioportal – Informacijski sustav zaštite prirode Zavoda za zaštitu okoliša i prirode Ministarstva zaštite okoliša i zelene tranzicije (MZOZT). <http://www.bioportal.hr>
- 81 Newbold, T., Oppenheimer, P., Etard, A., Williams, J.J. (2020): Tropical and Mediterranean biodiversity is disproportionately sensitive to land-use and climate change. *Nature Ecology & Evolution* 4: 1630–1638.
- 82 Norberg, U.M., Rayner, J.M.V. (1987): Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences* 316(1179): 335–427.

- 83 Nouioua, R., Hanf-Dressler, T., Dullinger, S., Voigt, C.C., Maas, B. (2025): Warming winters disrupt bat activity and hibernation in mediterranean olive agroecosystems. *Global Ecology and Conservation* 62: e03828.
- 84 Paige, K.N. (1995): Bats and barometric pressure: Conserving limited energy and tracking insects from the roost. *Functional Ecology* 9(3): 463–467.
- 85 Pandžić, K. (ur.) (2008): Naputak za opažanja i mjerenja na glavnim meteorološkim postajama. Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), Zagreb.
- 86 Parsons, K.N., Jones, G., Greenaway, F. (2003): Swarming activity of temperate zone microchiropteran bats: Effects of season, time of night and weather conditions. *Journal of Zoology* 261(3): 257–264.
- 87 Perks, S.J., Goodenough, A.E. (2020): Abiotic and spatiotemporal factors affect activity of European bat species and have implications for detectability for acoustic surveys. *Wildlife Biology* 2020(2): 1–8.
- 88 Pettit, J.L., O’Keefe, J.M. (2017): Day of year, temperature, wind, and precipitation predict timing of bat migration. *Journal of Mammalogy* 98(5): 1236–1248.
- 89 Posit team (2023): RStudio: Integrated development environment for R. Posit Software, PBC, Boston. <http://www.posit.co/>
- 90 QGIS Development Team (2024): QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://www.qgis.org>
- 91 R Core Team (2023): R – A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
- 92 Rebaudo, F., Faye, E., Dangles, O. (2016): Microclimate data improve predictions of insect abundance models based on calibrated spatiotemporal temperatures. *Frontiers in Physiology* 7: 139.
- 93 Rnjak, D., Janeš, M., Križan, J., AntoniĆ, O. (2023b): Reducing bat mortality at wind farms using site-specific mitigation measures: a case study in the Mediterranean region, Croatia. *Mammalia* 87(3): 259–270.
- 94 Rnjak, D., Presetnik, P., Rnjak, G., Maleš, S., Janeš, M., Grozić, D., Zrnčić, V., Hanžek, N., Kipson, M., Hodak, H., Lučev, L., Kovačić, D., Kovač, E. (2023a): Nacionalni program praćenja stanja šišmiša s rezultatima praćenja, Grupa 4: „Izrada i razvoj programa praćenja za šišmiše s jačanjem kapaciteta dionika sustava praćenja i izvješćivanja“. (Hamidović D., ur.). Geonatura d.o.o., Zagreb.

- 95 Rodrigues, L., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Karapandža, B., Kovač, D., Kervyn, T., Dekker, J., Kepel, A., Bach, P., Collins, J., Harbusch, C., Park, K., Micevski, B., Minderman, J. (2015): Publication Series No. 6 Guidelines for consideration of bats in wind farm projects Revision 2014. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn.
- 96 Rodríguez-San Pedro, A., Allendes, J.L., Bruna, T., Grez, A.A. (2024): Species-specific responses of insectivorous bats to weather conditions in Central Chile. *Animals* 14(6): 860.
- 97 Roeleke, M., Teige, T., Hoffmeister, U., Klingler, F., Voigt, C.C. (2018): Aerial-hawking bats adjust their use of space to the lunar cycle. *Movement Ecology* 6: 11.
- 98 Roemer, C., Disca, T., Coulon, A., Bas, Y. (2017): Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. *Biological Conservation* 215: 116–122.
- 99 Russo, D., Jones, G. (2003): Use of foraging habitats by bats in a Mediterranean area determined by acoustic surveys: conservation implications. *Ecography* 26(2): 197–209.
- 100 Rydell, J., Entwistle, A., Racey, P.A. (1996): Timing of foraging flights of three species of bats in relation to insect activity and predation risk. *OIKOS* 76(2): 243–252.
- 101 Salguero, M. del M., De la Cruz, A., Muñoz, A.R., Muñoz Arroyo, G. (2023): Bat mortality in wind farms of southern Europe: temporal patterns and implications in the current context of climate change. *Biodiversity and Conservation* 32(12): 3953–3971.
- 102 Sánchez-Navarro, S., Rydell, J., Ibáñez, C. (2020): Bat fatalities at wind-farms in the lowland Mediterranean of southern Spain. *Acta Chiropterologica* 21(2): 349–358.
- 103 Santos, H., Rodrigues, L., Jones, G., Rebelo, H. (2013): Using species distribution modelling to predict bat fatality risk at wind farms. *Biological Conservation* 157: 178–186.
- 104 Schnitzler, H.-U., Kalko, E.K.V. (2001): Echolocation by insect-eating bats. *BioScience* 51(7): 557–569.
- 105 Śmielak, M. (2023): Biologically meaningful moonlight measures and their application in ecological research. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 77: 21.

- 106 Smith, A.D., McWilliams, S.R. (2016): Bat activity during autumn relates to atmospheric conditions: Implications for coastal wind energy development. *Journal of Mammalogy* 97(6): 1565–1577.
- 107 Squires, K.A., Thurber, B.G., Zimmerling, J.R., Francis, C.M. (2021): Timing and weather offer alternative mitigation strategies for lowering bat mortality at wind energy facilities in Ontario. *Animals* 11: 3503.
- 108 Šegota, T., Filipčić, A. (2003): Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. *Geoadria* 8(1): 17–37.
- 109 Škunca, M., Danic, A., Mazija, M., Peternel, H., Rnjak, D., Patčev, E., Kapelj, S., AntoniĆ, O. (2013): Mapping the physiognomic types of vegetation in determining the space use degree of bird and bat fauna while assessing the impact of wind power plants, U (Alegro, A., Boršić, I., ur.): *Book of Abstracts, 4th Croatian Botanical Symposium with international participation*. Croatian Botanical Society, Split.
- 110 Taylor, L.R. (1963): Analysis of the effect of temperature on insects in flight. *Journal of Animal Ecology* 32(1): 99–117.
- 111 Thomas, D.W., Speakman, J.R. (2003): Physiological ecology and energetics of bats, U: Kunz, T.H., Fenton, M.B. (ur.), *Bat biology*. The University of Chicago Press, Chicago, pp. 430–492.
- 112 Turbill, C. (2008): Winter activity of Australian tree-roosting bats: influence of temperature and climatic patterns. *Journal of Zoology* 276(3): 285–290.
- 113 Turner, D.C. (1975): *The Vampire Bat: A field study in behavior and ecology*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- 114 Tvrtković, N. (2017): *Šišmiši Hrvatske – Kratka povijest istraživanja i priručnik za određivanje*. Prirodoslovni muzej Rijeka, Hrvatski prirodoslovni muzej, Rijeka, Zagreb.
- 115 Ulrich, W., Sachanowicz, K., Michalak, M. (2007): Environmental correlates of species richness of European bats (Mammalia: Chiroptera). *Acta Chiropterologica* 9(2): 347–360.
- 116 Voigt, C., Azam, C., Dekker, J., Ferguson, J., Fritze, M., Gazaryan, S., Hölker, F., Jones, G., Leader, N., Lewanzik, D., Limpens, H.J.G.A., Mathews, F., Rydell, J., Schofield, H., Spoelstra, K., Zagnajster, M. (2018): *Publication Series No. 8 Guidelines for consideration of bats in lighting projects*. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn.

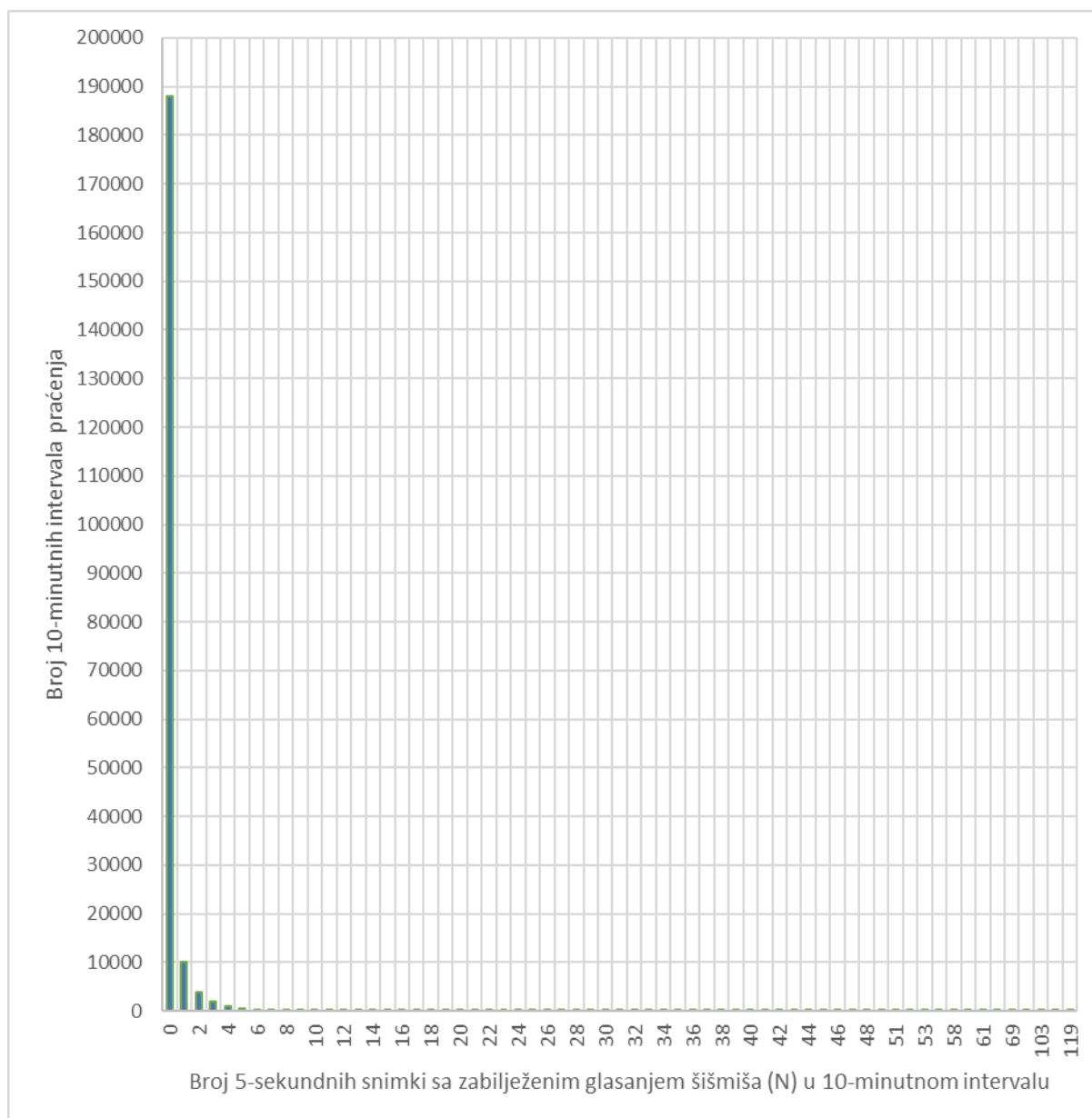
- 117 Voigt, C.C., Schneeberger, K., Voigt-Heucke, S.L., Lewanzik, D. (2011): Rain increases the energy cost of bat flight. *Biology Letters* 7(5): 793–795.
- 118 Wellig, S.D., Nusslé, S., Miltner, D., Kohle, O., Glaizot, O., Braunisch, V., Obrist, M.K., Arlettaz, R. (2018): Mitigating the negative impacts of tall wind turbines on bats: Vertical activity profiles and relationships to wind speed. *PLoS ONE* 13(3): e0192493.
- 119 Willmer, P.G. (1982): Microclimate and the environmental physiology of insects. *Advances in Insect Physiology* 16: 1–57.
- 120 Winter, R., Mantilla-Contreras, J., Schmidt, S. (2020): Usage of buildings in the life cycle of two endangered (*Rhinolophus*) species in the Mediterranean region: implications for roost protection. *European Journal of Wildlife Research* 66: 38.
- 121 Winter, R., Treitler, J.T., Mantilla-Contreras, J., Schmidt, S., Kierdorf, U. (2025): Who can cope with this environment? Occurrence and activity of bats on a sparsely wooded Mediterranean island. *European Journal of Wildlife Research* 71(4): 87.
- 122 Wolcott, K.A., Vulinec, K. (2012): Bat activity at woodland/farmland interfaces in Central Delaware. *Northeastern Naturalist* 19(1): 87–98.
- 123 Wu, H., Gong, L., Jiang, T., Feng, J., Lin, A. (2021): Echolocation call frequencies of bats vary with body temperature and weather conditions. *Animal Behaviour* 180: 51–61.
- 124 Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katušin, Z., Kaučić, D., Likso, T., Lončar, E., Lončar, Ž., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnec, L., Vučetić, V. (2008): Klimatski atlas Hrvatske (Climate atlas of Croatia) 1961. – 1990., 1971. - 2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.
- 125 Zuur, A.F., Ieno, E.N., Elphick, C.S. (2010): A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution* 1(1): 3–14.
- 126 Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A., Smith, G.M. (2009): Mixed effects models and extensions in ecology with R. Springer, New York.

Zakoni, uredbe, pravilnici

- 1 Direktiva o zaštiti prirodnih staništa i divlje faune i flore – „Direktiva o staništima“ (Council directive 92/43/EEZ) od 21.5.1992.g., zadnje izmijenjena i dopunjena Direktivom Vijeća 2013/17/EU od 13.05.2013.g.
- 2 Pravilnik o strogo zaštićenim vrstama (NN 144/13, 73/16)
- 3 Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (NN 46/20)
- 4 Zakon o potvrđivanju Sporazuma o zaštiti šišmiša u Europi (EUROBATS), (NN – Međunarodni ugovori 6/00)
- 5 Zakon o zaštiti prirode (NN 80/13, 15/18, 14/19, 127/19, 155/23)

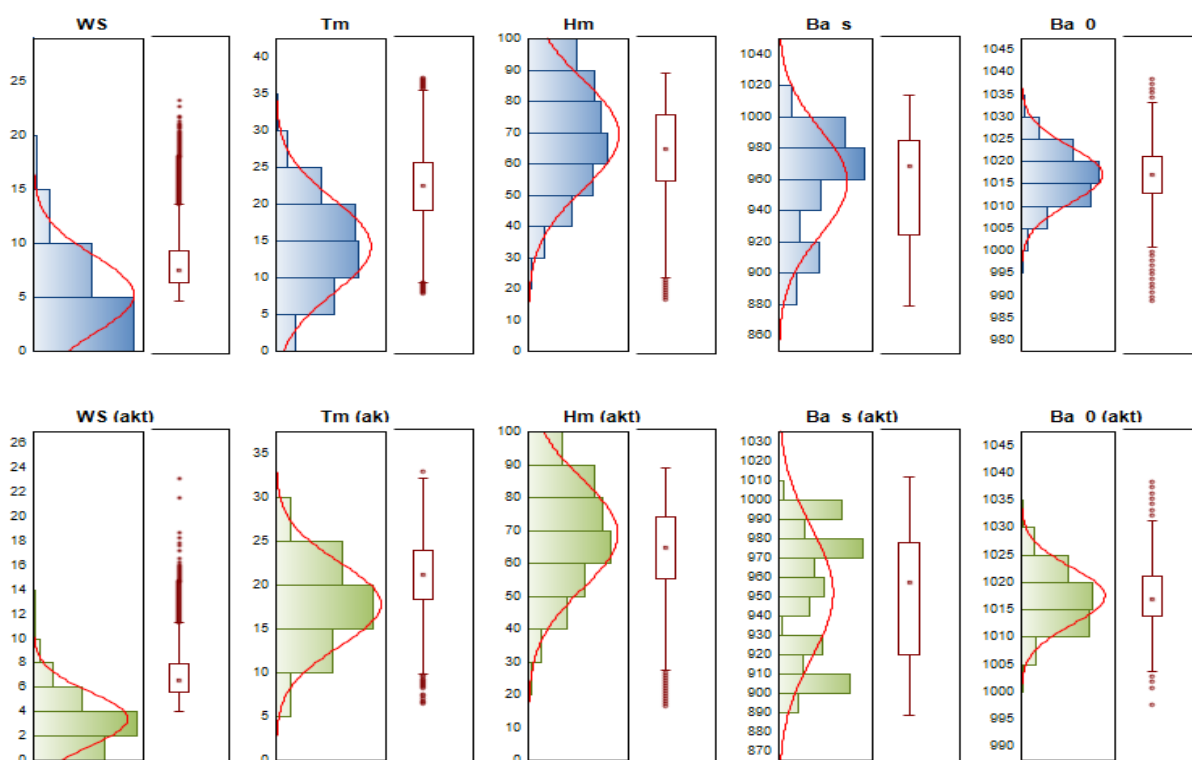
8 PRILOZI

Prilog 1a. Raspodjela broja 5-sekundnih snimki sa zabilježenim glasanjem šišmiša (N) na razini 10-minutnih intervala praćenja



Prilog 2a. Deskriptivna statistika mikroklimatskih mjerenja na razini 10-minutnih intervala praćenja

Sva mikroklimatska mjerenja (obojeno plavo) i mjerenja za vrijeme kojih je zabilježena aktivnost šišmiša (obojeno zeleno) korištenih u poglavlju 4.2 i 4.3 na temelju prosječnih vrijednosti na razini 10-minutnih intervala praćenja (Var – mikroklimatske varijable: WS – brzina vjetra (m/s), Tm – temperatura zraka (°C), Hm – relativna vlažnost zraka (%), Ba_s – atmosferski tlak na razini mjerenja (hPa), Ba_0 – atmosferski tlak sveden na razinu mora (hPa), RR – intenzitet oborine (mm/h); n – broj 10-minutnih intervala mjerenja; Avg – prosjek, Min – Minimalna vrijednost, Max – maksimalna vrijednost, Per – percentili 0,10 – 0,95, St. dev. – standardna devijacija).



Var	n	Avg	Min	Max	Perc (5)	Perc (10)	Perc (25)	Perc (50)	Perc (75)	Perc (90)	Perc (95)	St. dev.
WS	196970	5,2	0,0	28,5	1,0	1,6	2,6	4,4	7,1	10,2	12,4	3,6
Tm	192414	14,2	-6,0	34,7	3,7	6,0	9,6	14,3	18,8	22,5	24,6	6,4
Hm	102524	69,0	7,0	100,0	40,0	45,5	56,1	69,2	83,0	92,0	96,5	17,4
Ba_s	123069	957,7	879,9	1012,9	899,4	902,6	924,7	968,5	983,8	996,3	1000,2	33,6
Ba_0	123069	1016,8	988,7	1037,9	1006,3	1009,2	1013,0	1016,7	1021,3	1024,9	1026,9	6,3
RR	43504	0,2	0,0	165,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
WS (akt)	18748	3,4	0,0	22,4	0,8	1,1	1,8	3,0	4,5	6,3	7,6	2,2
Tm (akt)	18259	17,7	0,5	31,9	9,6	11,4	14,5	17,8	21,2	24,0	25,5	4,8
Hm (akt)	9607	68,4	7,0	100,0	40,5	46,0	57,0	69,0	81,4	89,9	93,5	16,5
Ba_s (akt)	11590	951,2	889,5	1011,0	900,7	902,3	920,3	956,7	977,1	993,5	995,8	33,2
Ba_0 (akt)	11590	1017,4	998,1	1037,8	1009,3	1011,3	1013,8	1016,9	1021,1	1024,0	1026,2	5,2
RR (akt)	3974	0,0	0,0	42,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8

Prilog 2b. Deskriptivna statistika mikroklimatskih mjerenja na razini 10-minutnih intervala praćenja po lokalitetima istraživanja

Sva mikroklimatska mjerenja (obojeno plavo) i mjerenja za vrijeme kojih je zabilježena aktivnost šišmiša (obojeno zeleno) korištenih u poglavlju 4.2 i 4.3. na temelju prosječnih vrijednosti na razini 10-minutnih intervala praćenja (Lokalitet – lokalitet istraživanja i visina mikrofona za praćenje aktivnosti šišmiša (m); Var_v – mjerene mikroklimatske varijable i visina mjerenja (m): WS – brzina vjetra (m/s), Tm – temperatura zraka (°C), Hm – relativna vlažnost zraka (%), Ba_s – atmosferski tlak na razini mjerne postaje (hPa), Ba_0 – atmosferski tlak sveden na razinu mora (hPa), RR – intenzitet oborine (mm/h); n – broj 10-minutnih intervala mjerenja; Avg – prosjek, Min – Minimalna vrijednost, Max – maksimalna vrijednost, Per – percentili 0,10 – 0,95, St. dev. – standardna devijacija).

* Plavo obojane vrijednosti 25., 50. i 75. percentila (Perc 25, Perc 50 i Perc 75) predstavljaju granice kvartila (Q1 – Q4) korištenih za Kruskal–Wallisov test i Dunnov post hoc test u poglavlju 4.2.

Lokalitet	Var_v	n	Avg	Min	Max	Perc (5)	Perc (10)	Perc (25)*	Perc (50)*	Perc (75)*	Perc (90)	Perc (95)	St. dev.
A 55 m	WS_50	19022	5,6	0,0	20,7	1,2	1,6	2,7	4,4	7,8	11,2	13,6	3,9
	Tm_08	19022	13,5	1,2	30,8	6,1	7,0	9,0	12,9	17,8	21,1	22,5	5,4
	WS_50	2186	3,5	0,0	16,6	0,8	1,0	1,7	2,7	4,3	7,1	8,8	2,6
	Tm_08	2186	15,3	2,8	27,4	7,6	8,7	11,1	15,1	19,5	21,7	22,8	5,0
B 25 m	WS_40	48202	5,2	0,0	24,7	1,2	1,7	2,7	4,3	6,8	10,1	12,3	3,5
	Tm_08	50022	13,3	-6,0	31,6	3,5	5,5	8,4	13,0	17,8	22,0	24,1	6,4
	RR_10	9947	0,3	0,0	160,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6
	Hm_10	9947	68,0	19,0	98,0	36,0	42,5	55,0	67,0	85,0	91,5	94,5	18,3
	Ba_s_10	9947	962,1	932,3	978,6	950,8	953,6	957,5	962,3	967,1	970,6	972,7	7,1
	Ba_0_10	9947	1018,5	988,7	1035,1	1007,3	1010,1	1014,0	1018,7	1023,6	1027,0	1029,1	7,1
	WS_40	4498	3,3	0,0	16,2	0,9	1,2	1,9	2,9	4,2	6,3	7,8	2,1
	Tm_08	4555	18,2	3,7	30,0	10,6	12,3	15,2	18,2	21,7	24,3	25,5	4,5
	RR_10	925	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	Hm_10	925	61,2	21,0	97,0	37,0	41,0	48,5	60,0	72,0	86,0	89,5	16,0
	Ba_s_10	925	961,7	950,7	977,3	953,7	956,1	957,7	961,5	965,0	968,3	971,0	5,0
	Ba_0_10	925	1018,2	1007,2	1033,7	1010,1	1012,5	1014,1	1018,0	1021,5	1024,7	1027,5	5,0

Lokalitet	Var_v	n	Avg	Min	Max	Perc (5)	Perc (10)	Perc (25)*	Perc (50)*	Perc (75)*	Perc (90)	Perc (95)	St. dev.
C 45 m	WS_50	30834	7,2	0,0	28,5	2,0	2,6	4,1	6,4	9,5	13,2	15,1	4,1
	Tm_10	25641	10,9	-2,2	29,8	1,6	2,9	6,1	10,8	15,4	19,0	21,2	6,0
	Hm_10	25641	70,3	15,6	100,0	38,6	46,0	56,5	71,0	86,0	95,3	97,6	18,5
	Ba_s_10	30773	994,6	969,1	1012,9	982,2	986,3	991,0	994,6	999,0	1002,8	1005,0	6,6
	Ba_0_10	30773	1015,3	989,8	1033,6	1002,9	1007,0	1011,7	1015,3	1019,7	1023,5	1025,7	6,6
	WS_50	2034	4,3	0,0	22,4	1,3	1,7	2,5	3,8	5,6	7,4	8,6	2,4
	Tm_10	1497	16,2	1,5	25,8	10,1	11,5	13,7	16,3	19,0	21,6	22,6	3,9
	Hm_10	1497	78,7	19,5	100,0	52,7	59,0	69,8	81,0	90,1	96,1	97,7	14,5
	Ba_s_10	2032	994,3	977,4	1011,0	987,6	989,3	992,2	994,0	996,7	999,5	1001,1	4,1
	Ba_0_10	2032	1015,0	998,1	1031,7	1008,3	1010,0	1012,9	1014,7	1017,4	1020,2	1021,8	4,1
D 60 m	WS_60	15544	4,7	0,0	19,5	1,0	1,3	2,2	3,9	6,6	9,4	10,8	3,1
	Tm_10	14361	17,2	3,4	34,0	8,1	9,5	13,0	17,2	21,3	25,0	27,3	5,8
	Ba_s_10	15544	971,9	954,6	983,1	964,9	966,5	969,0	972,3	974,7	977,0	978,1	4,1
	Ba_0_10	15544	1013,1	995,8	1024,3	1006,1	1007,7	1010,2	1013,5	1015,9	1018,2	1019,3	4,1
	WS_60	1449	3,4	0,0	11,6	0,8	1,1	1,8	2,9	4,6	6,6	8,1	2,2
	Tm_10	1440	18,8	5,8	30,9	10,1	12,1	15,6	19,0	21,9	24,9	27,1	4,8
	Ba_s_10	1449	973,1	962,7	982,7	966,7	968,3	971,2	973,3	975,5	977,2	978,0	3,4
	Ba_0_10	1449	1014,2	1003,9	1023,9	1007,9	1009,5	1012,4	1014,5	1016,7	1018,4	1019,2	3,4

Lokalitet	Var_v	n	Avg	Min	Max	Perc (5)	Perc (10)	Perc (25)*	Perc (50)*	Perc (75)*	Perc (90)	Perc (95)	St. dev.
E 45 m	WS_20	16032	3,2	0,0	22,4	0,0	0,0	1,3	2,3	4,5	7,2	9,4	3,0
	Tm_20	16032	15,2	-2,3	33,4	2,5	5,2	9,1	16,0	20,8	25,0	27,0	7,5
	RR_20	16032	0,2	0,0	165,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7
	Hm_20	16032	71,6	24,0	94,5	44,0	49,0	60,0	75,0	84,5	89,5	91,0	15,3
	Ba_s_20	15940	951,4	929,6	969,2	941,6	944,7	948,0	951,2	955,1	959,7	962,3	6,1
	Ba_0_20	15940	1015,0	993,1	1032,7	1005,1	1008,2	1011,5	1014,7	1018,6	1023,2	1025,8	6,1
	WS_20	1615	2,5	0,0	13,2	0,0	0,0	1,1	2,2	3,6	5,2	6,3	2,2
	Tm_20	1615	20,8	1,3	29,6	9,8	13,7	17,4	21,9	24,8	26,7	27,8	5,3
	RR_20	1615	0,0	0,0	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	Hm_20	1615	64,9	28,5	93,5	41,0	46,0	53,5	65,0	77,0	85,0	88,0	14,7
	Ba_s_20	1615	950,9	937,4	965,3	945,1	946,2	948,5	950,5	953,1	955,4	957,7	3,8
	Ba_0_20	1615	1014,4	1000,9	1028,8	1008,6	1009,7	1012,0	1014,0	1016,6	1018,9	1021,2	3,8
F 60 m	WS_50	33957	5,2	0,0	20,2	1,2	1,7	2,7	4,4	7,1	10,1	12,0	3,3
	Tm_08	33957	16,8	2,0	34,7	8,6	9,9	12,5	16,3	21,2	24,2	25,9	5,5
	RR_10	17525	0,2	0,0	136,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9
	Hm_10	17525	66,0	27,0	97,0	40,0	43,5	52,0	65,5	80,5	89,0	92,0	16,9
	Ba_s_10	17486	976,7	959,8	992,8	968,3	970,4	973,5	976,4	980,2	984,0	985,5	5,2
	Ba_0_10	17486	1017,3	1000,3	1033,4	1008,9	1010,9	1014,1	1017,0	1020,7	1024,5	1026,1	5,2
	WS_50	2830	3,4	0,1	14,0	1,0	1,3	2,0	3,0	4,4	6,0	7,0	1,9
	Tm_08	2830	18,7	7,9	31,9	11,4	12,8	15,2	18,9	22,1	24,4	25,7	4,5
	RR_10	1434	0,1	0,0	42,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
	Hm_10	1434	69,1	27,5	95,0	41,0	45,0	56,0	72,0	82,5	88,5	91,0	16,2
	Ba_s_10	1433	977,4	964,3	988,2	970,2	971,6	974,4	977,1	980,7	983,7	985,0	4,5
	Ba_0_10	1433	1018,0	1004,8	1028,7	1010,8	1012,1	1015,0	1017,6	1021,3	1024,2	1025,5	4,5

Lokalitet	Var_v	n	Avg	Min	Max	Perc (5)	Perc (10)	Perc (25)*	Perc (50)*	Perc (75)*	Perc (90)	Perc (95)	St. dev.
G 55 m	WS_60	12023	4,3	0,0	16,3	0,8	1,3	2,4	4,2	6,1	7,4	8,4	2,4
	Tm_06	12023	17,8	6,3	29,8	10,5	12,5	14,8	17,9	20,7	23,4	24,8	4,2
	Hm_06	12023	62,3	7,0	100,0	37,4	42,1	49,8	62,2	72,0	85,2	93,6	16,6
	Ba_s_06	12023	921,8	905,4	932,8	913,4	916,5	919,9	922,1	924,4	926,5	928,3	4,2
	Ba_0_06	12023	1017,1	1000,7	1028,1	1008,7	1011,8	1015,2	1017,4	1019,7	1021,8	1023,6	4,2
	WS_60	1808	3,3	0,1	10,0	0,7	1,0	1,7	3,0	4,7	6,2	7,0	2,0
	Tm_06	1808	18,0	7,6	27,3	10,8	12,5	14,7	18,2	21,2	23,7	25,0	4,2
	Hm_06	1808	64,4	7,0	100,0	34,2	41,1	52,1	64,3	77,5	90,7	96,9	18,5
	Ba_s_06	1808	921,6	908,0	932,7	911,9	916,8	919,7	922,0	924,1	926,7	928,4	4,4
	Ba_0_06	1808	1016,9	1003,3	1028,0	1007,2	1012,1	1015,0	1017,3	1019,4	1022,0	1023,7	4,4
H 60 m	WS_50	21356	4,7	0,0	22,8	1,1	1,6	2,6	4,2	6,1	8,6	10,3	2,9
	Tm_08	21356	12,2	-5,9	25,9	1,6	3,8	8,3	13,2	16,5	19,0	20,2	5,8
	Hm_10	21356	72,0	7,5	100,0	45,6	51,1	61,4	71,1	83,0	98,3	100,0	16,5
	Ba_s_10	21356	901,4	879,9	917,4	892,5	895,2	898,8	901,9	904,6	907,4	908,8	5,2
	Ba_0_10	21356	1021,9	1000,4	1037,9	1013,0	1015,7	1019,3	1022,3	1025,1	1027,9	1029,3	5,2
	WS_50	2328	3,4	0,1	12,3	0,9	1,4	2,1	3,1	4,4	5,6	6,4	1,7
	Tm_08	2328	15,9	0,5	23,0	8,4	10,3	14,2	16,5	18,5	20,1	20,9	3,8
	Hm_10	2328	69,9	11,6	100,0	46,6	52,4	61,9	70,3	79,2	88,5	92,8	14,1
	Ba_s_10	2328	902,7	889,5	917,3	897,7	898,9	900,7	902,3	904,4	907,5	909,1	3,5
	Ba_0_10	2328	1023,2	1010,0	1037,8	1018,2	1019,3	1021,2	1022,8	1024,9	1028,0	1029,5	3,5

Prilog 2c. Deskriptivna statistika mikroklimatskih mjerenja na razini 10-minutnih intervala praćenja po sezonama

Sva mikroklimatska mjerenja (obojeno plavo) i za vrijeme kojih je zabilježena aktivnost šišmiša (obojeno zeleno) korištenih u poglavlju 4.2 i 4.3. na temelju prosječnih vrijednosti na razini 10-minutnih intervala praćenja (Sezona: ZIMA – prosinac, siječanj, veljača; PROLJ – ožujak, travanj, svibanj; LJETO – lipanj, srpanj, kolovoz; JESEN – rujan, listopad, studeni; WS – brzina vjetra (m/s), Tm – temperatura zraka (°C), Hm – relativna vlažnost zraka (%), Ba_s – atmosferski tlak na razini mjerne postaje (hPa), Ba_0 – atmosferski tlak sveden na razinu mora (hPa), RR – intenzitet oborine (mm/h); n – broj 10-minutnih intervala mjerenja; Avg – prosjek, Min – Minimalna vrijednost, Max – maksimalna vrijednost, Per – percentili 0,10 – 0,95, St. dev. – standardna devijacija)

* Plavo obojane vrijednosti 25., 50. i 75. percentila (Perc 25, Perc 50 i Perc 75) predstavljaju granice kvartila (Q1 – Q4) korištenih za Kruskal–Wallisov test i Dunnov post hoc test u poglavlju 4.2.

SEZONA	Varijabla	n	Avg	Min	Max	Perc (5)	Perc (10)	Perc (25)*	Perc (50)*	Perc (75)*	Perc (90)	Perc (95)	St. dev.
ZIMA	WS	23171	6,4	0,0	28,5	1,3	1,8	3,1	5,2	8,9	13,2	15,5	4,5
	Tm	23167	6,0	-6,0	15,7	-0,1	1,3	3,7	6,4	8,5	10,3	11,4	3,5
	RR	1867	0,2	0,0	23,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,2
	Hm	11750	71,0	19,4	100,0	37,9	46,5	56,0	73,0	87,3	95,3	99,2	19,1
	Ba_s	11711	983,2	896,0	1012,9	905,4	949,0	977,8	994,0	1000,9	1004,2	1007,0	27,7
	Ba_0	11711	1016,9	989,8	1033,6	999,1	1002,7	1012,5	1018,2	1023,3	1026,8	1029,0	8,6
	WS	102	3,0	0,0	12,5	0,7	0,9	1,4	2,5	3,5	5,7	7,2	2,4
	Tm	102	8,2	3,0	13,6	3,8	4,8	6,2	8,7	9,5	11,3	13,0	2,5
	RR	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Hm	48	73,7	42,6	100,0	46,8	49,9	62,4	76,7	86,1	90,2	93,2	15,4
	Ba_s	48	984,1	903,6	1007,0	905,2	906,3	987,4	996,9	1001,4	1003,9	1005,9	32,0
	Ba_0	48	1020,5	1007,5	1029,1	1008,3	1010,3	1016,9	1021,5	1024,5	1027,0	1027,7	5,7
PROLJ	WS	40559	5,6	0,0	27,6	1,2	1,7	2,9	4,8	7,8	10,8	12,8	3,7
	Tm	39513	11,6	-5,9	24,7	4,4	6,1	8,9	11,8	14,4	17,0	18,1	4,3
	RR	2685	0,1	0,0	48,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
	Hm	16515	70,0	7,0	100,0	40,3	46,0	56,9	70,5	84,5	94,0	97,9	17,9
	Ba_s	19556	955,7	879,9	1006,6	893,8	897,8	903,9	974,2	990,0	996,5	1000,2	40,6
	Ba_0	19556	1015,6	997,3	1032,4	1005,5	1007,3	1011,4	1015,9	1020,2	1023,3	1025,1	6,0
	WS	2419	3,3	0,0	22,4	0,9	1,1	1,9	2,9	4,3	6,1	7,4	2,1
	Tm	2421	13,4	2,8	22,9	7,5	9,2	11,4	13,7	15,9	17,5	18,3	3,3
	RR	150	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	Hm	901	74,7	7,0	99,2	42,5	51,5	66,0	79,2	86,9	92,6	97,0	17,8
	Ba_s	953	965,0	892,5	1004,8	898,4	901,7	928,9	984,4	992,8	994,4	994,7	37,0
	Ba_0	953	1015,9	998,1	1029,6	1006,4	1008,9	1013,0	1015,1	1019,6	1023,2	1024,9	5,3

SEZONA	Varijabela	n	Avg	Min	Max	Perc (5)	Perc (10)	Perc (25)*	Perc (50)*	Perc (75)*	Perc (90)	Perc (95)	St. dev.
LJETO	WS	61437	4,7	0,0	21,7	1,0	1,5	2,5	4,0	6,4	8,8	10,4	3,0
	Tm	56179	20,7	8,1	34,7	14,6	15,9	18,1	20,6	23,3	25,8	27,3	3,9
	RR	13936	0,1	0,0	165,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1
	Hm	27888	61,3	23,4	100,0	37,7	42,0	49,5	61,1	71,9	81,6	87,0	14,9
	Ba_s	39425	951,7	891,5	1000,4	899,2	901,7	922,2	960,0	975,1	991,9	993,9	31,6
	Ba_0	39425	1015,3	1001,3	1026,2	1008,5	1010,0	1012,4	1015,1	1018,1	1021,2	1022,6	4,2
	WS	8843	3,4	0,0	14,6	0,7	1,1	1,9	3,0	4,5	6,3	7,6	2,2
	Tm	8305	21,1	10,2	31,9	15,9	17,0	18,8	21,0	23,5	25,6	26,7	3,3
	RR	2059	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	Hm	4495	62,5	24,9	99,3	38,3	43,0	51,4	62,7	72,8	83,2	87,5	15,0
	Ba_s	5620	946,5	893,5	1000,3	899,9	901,7	919,0	950,9	973,3	992,0	994,2	32,2
	Ba_0	5620	1016,2	1004,5	1026,2	1009,4	1011,1	1013,2	1015,8	1019,3	1022,5	1023,2	4,2
JESEN	WS	71803	5,1	0,0	25,1	0,9	1,4	2,5	4,3	6,9	10,2	12,4	3,6
	Tm	73555	13,3	-3,3	29,0	5,2	7,3	10,1	13,5	16,5	18,9	20,7	4,7
	RR	25016	0,3	0,0	160,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6
	Hm	46371	72,7	7,5	100,0	43,4	50,0	61,2	74,0	86,0	93,7	97,6	16,6
	Ba_s	52377	957,2	884,6	1012,4	902,8	905,9	932,7	964,6	978,9	995,6	998,9	30,8
	Ba_0	52377	1018,5	988,7	1037,9	1006,5	1009,7	1014,6	1018,8	1023,3	1026,6	1028,3	6,7
	WS	7384	3,4	0,0	20,4	0,7	1,1	1,8	2,9	4,5	6,3	7,6	2,2
	Tm	7431	15,5	0,5	26,7	9,0	10,3	13,1	15,5	17,9	20,4	22,0	3,9
	RR	1761	0,1	0,0	42,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
	Hm	4163	73,5	11,6	100,0	45,7	52,4	63,6	74,9	85,3	92,7	96,5	15,6
	Ba_s	4969	953,5	889,5	1011,0	902,4	905,6	921,3	962,1	977,9	995,0	998,4	32,5
	Ba_0	4969	1019,0	1000,9	1037,8	1009,9	1012,6	1015,2	1018,8	1022,9	1026,4	1028,4	5,6

Prilog 3. Rezultati Dunnova post hoc testa za aktivnost šišmiša unutar svakog kvartila mikroklimatske varijable

Rezultati Dunnova post hoc testa za indeks aktivnosti šišmiša (NK/10 min – broj 5-sekundnih snimki sa zabilježenim glasanjem šišmiša (N), korigiran koeficijentom detektabilnosti specifičnim za pojedinu vrstu ili fonetsku skupinu (K), izražen po 10-minutnom intervalu) unutar svakog kvartila mikroklimatske varijable (Q1 – Q4) (da – statistički značajna razlika, $p < 0,05$)

Mikroklimatska varijabla	Grupa	Q1 i Q2	Q1 i Q3	Q1 i Q4	Q2 i Q3	Q2 i Q4	Q3 i Q4
Temperatura zraka (°C)	A	da	da	da	da	da	da
	B	da	da	da	da	da	da
	C	da	da	da	da	da	da
	D	da	da	da	da	da	da
	E	da	da	da	da	da	da
	F	da	da	da	da	da	
	G	da		da	da	da	
	H	da	da	da	da	da	da
	SVI LOK.	Da	da	da	da	da	da
	ZIMA	da	da	da		da	da
	PROLJ	da	da	da	da	da	da
	LJETO	da	da	da			
	JESEN	da	da	da	da	da	da
	SVE SEZONE	da	da	da	da	da	da
Brzina vjetra (m/s)	A	da	da	da	da	da	da
	B	da	da	da	da	da	da
	C	da	da	da	da	da	da
	D	da	da	da	da	da	da
	E	da	da	da	da	da	da
	F	da	da	da	da	da	da
	G	da	da	da	da	da	da
	H		da	da	da	da	da
	SVI LOK.	Da	da	da	da	da	da
	ZIMA	da	da	da		da	
	PROLJ	da	da	da	da	da	da
	LJETO	da	da	da	da	da	da
	JESEN	da	da	da	da	da	da
	SVE SEZONE	da	da	da	da	da	da
Relativna vlažnost (%)	B	da	da	da	da	da	da
	C	da	da	da	da	da	
	E	da	da	da	da	da	da
	F		da	da	da	da	da
	G			da		da	da
	H	da	da	da		da	da
	SVI LOK.		Da			da	da
	PROLJ		da	da	da	da	
	LJETO	da	da	da	da	da	
	JESEN	da	da	da		da	da
	SVE SEZONE	da	da	da	da		da
Atmosferski tlak na razini mora (hPa)	B	da	da	da	da	da	da
	C	da	da	da	da	da	da
	D	da	da	da	da	da	
	E	da	da	da	da	da	da
	F	da	da	da			da
	G			da			da
	H	da	da	da	da	da	da
	SVI LOK.	Da	da	da	da	da	da
	ZIMA			da			
	PROLJ	da		da	da	da	
	LJETO	da	da	da		da	da
	JESEN	da	da		da	da	da

Mikroklimatska varijabla	Grupa	Q1 i Q2	Q1 i Q3	Q1 i Q4	Q2 i Q3	Q2 i Q4	Q3 i Q4
Atmosferski tlak na razini mjerne postaje (hPa)	SVE SEZONE	da	da	da	da		da
	B	da	da	da	da	da	da
	C	da	da	da	da	da	da
	D	da	da	da	da	da	
	E	da	da	da	da	da	da
	F	da	da	da			
	G			da			da
	H	da	da	da	da	da	da
	SVI LOK.	Da	da	da	da	da	da
	PROLJ		da	da	da	da	da
	LJETO		da	da	da	da	da
	JESEN	da	da	da	da	da	
	SVE SEZONE	da	da	da	da		

Prilog 4 Testirani modeli u postupku odabira mikroklimatskih prediktora

Popis testiranih GAMM dvodijelnih (*hurdle*) modela pojave i intenziteta aktivnosti u postupku odabira mikroklimatskih prediktora (Izvor: Set A – sva dostupna mjerenja temperature i brzine vjetra, Set B – sva mjerenja temperature zraka i brzine vjetra za koja su ujedno bila dostupna i mjerenja relativne vlažnosti zraka te atmosferskog tlaka; Korak – koraci u hijerarhijskom odabiru modela za temperaturu zraka (Tm), brzinu vjetra (WS), relativnu vlažnost zraka (Hm) i atmosferski tlak (Ba), ΔAIC – razlika AIC vrijednosti između najboljeg modela i alternativnih modela unutar pojedinog koraka odabira, Dev_expl – udio objašnjene devijance; R^2_{adj} – prilagođeni koeficijent determinacije, tj. udio varijabilnosti u aktivnosti šišmiša koji model objašnjava; n – veličina uzorka). Tablica 17 opisuje kratice mikroklimatskih varijabli. U svakom koraku odabira (S1 – S4 za pojavu i S1 – S5 za intenzitet aktivnosti) zadržani su svi prediktori odabrani u prethodnim koracima, dok je u tekućem koraku testirano uključivanje dodatne skupine mikroklimatskih prediktora.

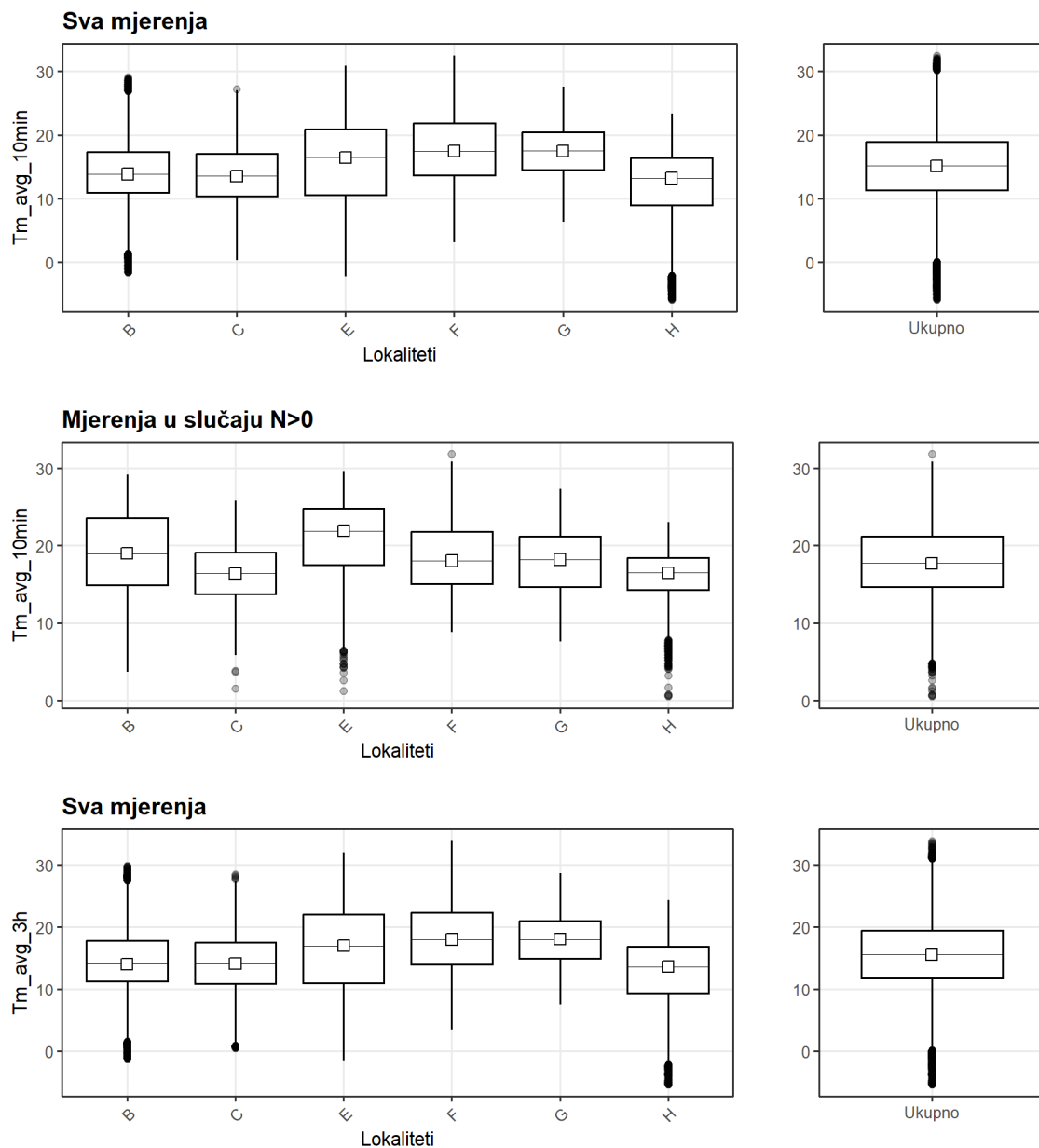
Izvor	Korak	Kandidat	Model	AIC	ΔAIC unutar koraka	Dev _expl	R^2_{adj}	n
Set A	S0 Osnovni model	sezonska dinamika (s(julian_day_c, by = Q_night)) + kvartili noći (Q_night) + moon_effective + slučajni učinak loc_year	pojava	150326,03	-	0,1748	0,2101	137524
Set A		Tm_3h i WS_1h	pojava	134883,18	0,00	0,2597	0,3019	137524
Set A		Tm_1h i WS_1h	pojava	134961,65	78,46	0,2593	0,3015	137524
Set A		Tm_10min i WS_1h	pojava	135008,04	124,85	0,2590	0,3013	137524
Set A	S1 Osnovne vrijednosti	Tm_3h i WS_10min	pojava	135055,65	172,47	0,2588	0,3011	137524
Set A	temperature	Tm_1h i WS_10min	pojava	135159,41	276,23	0,2582	0,3006	137524
Set A	zraka i brzine vjetra	Tm_10min i WS_10min	pojava	135180,98	297,79	0,2581	0,3005	137524
Set A		Tm_3h i WS_3h	pojava	135688,76	805,58	0,2553	0,2967	137524
Set A		Tm_1h i WS_3h	pojava	135796	912,82	0,2547	0,2961	137524
Set A		Tm_10min i WS_3h	pojava	135824,32	941,13	0,2546	0,2960	137524
Set A		Tm_chng_rang_3h	pojava	134585,66	0,00	0,2614	0,3035	137524
Set A		Tm_chng_rang_1h	pojava	134763,16	177,50	0,2604	0,3026	137524
Set A	S2 Dinamika temperature	Tm_diff_1h	pojava	134830,52	244,86	0,2601	0,3023	137524
Set A		Tm_diff_3h	pojava	134831,57	245,91	0,2601	0,3022	137524
Set A		none	pojava	134883,18	297,53	0,2597	0,3019	137524
Set A		WS_diff_1h	pojava	134417,17	0,00	0,2624	0,3047	137524
Set A		WS_chng_rang_3h	pojava	134503,95	86,77	0,2619	0,3040	137524
Set A	S3 Dinamika brzine vjetra	WS_diff_3h	pojava	134520,73	103,56	0,2618	0,3040	137524
Set A		WS_chng_rang_1h	pojava	134555,22	138,05	0,2616	0,3037	137524
Set A		none	pojava	134585,66	168,48	0,2614	0,3035	137524
Set A	S4	Tm x WS	pojava	134201,71	0,00	0,2637	0,3059	137524
Set A	Interakcije	none	pojava	134417,17	215,47	0,2624	0,3047	137524
Set A	S0 Osnovni model	sezonska dinamika (s(julian_day_c, by = Q_night)) + kvartili noći (Q_night) + moon_effective + slučajni učinak loc_year	intenzitet	271441,25	-	0,2434	0,1584	51563
Set A	S1 Osnovne vrijednosti	Tm_10min i WS_10min	intenzitet	266409,27	0,00	0,3179	0,1904	51563
Set A	temperature	Tm_1h i WS_10min	intenzitet	266452,96	43,69	0,3173	0,1901	51563
Set A	zraka i brzine vjetra	Tm_3h i WS_10min	intenzitet	266582,18	172,91	0,3155	0,1897	51563
Set A		Tm_10min i WS_1h	intenzitet	266875,05	465,78	0,3113	0,1841	51563

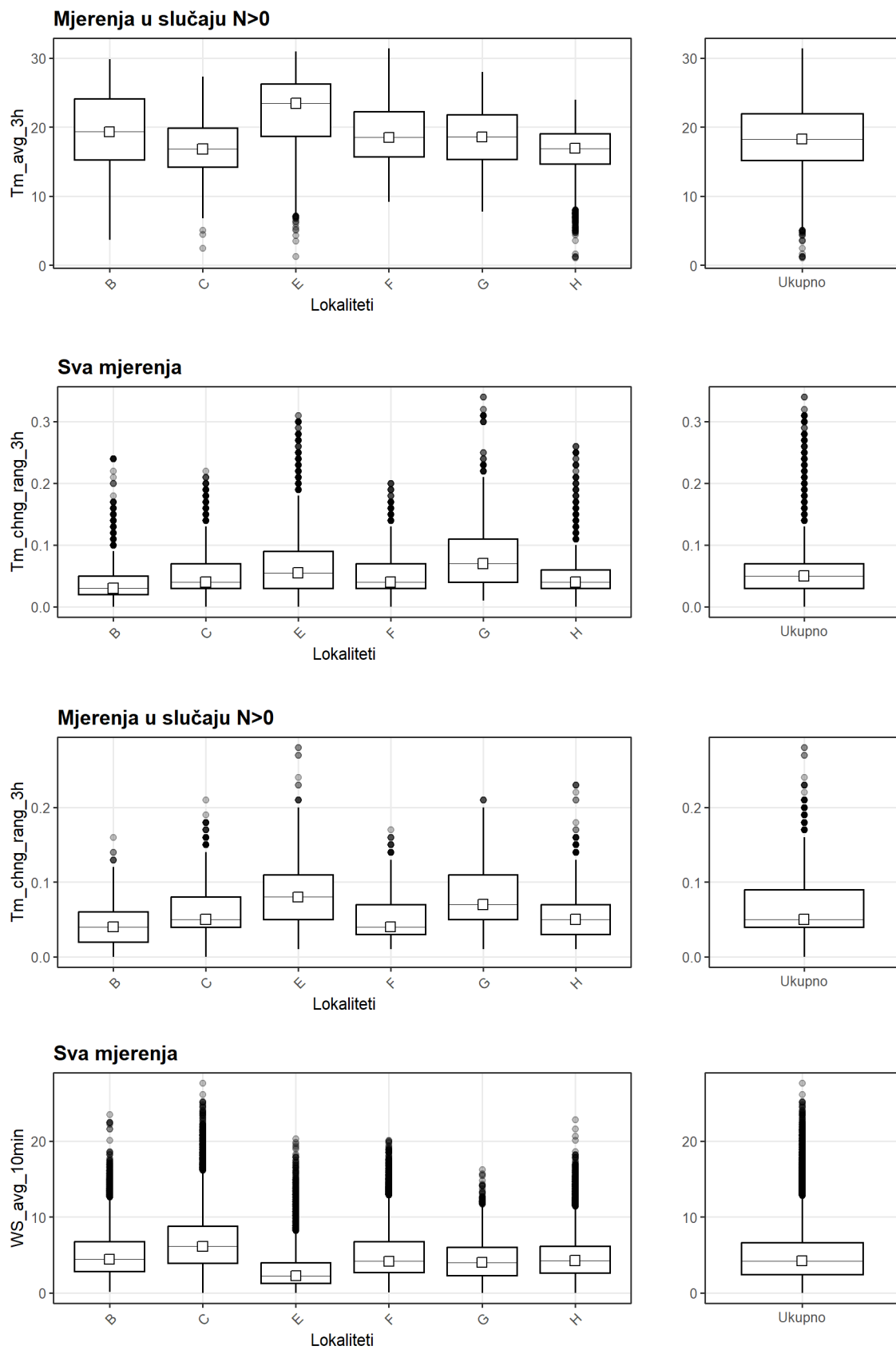
Izvor	Korak	Kandidat	Model	AIC	ΔAIC unutar koraka	Dev _expl	R ² _adj	n
Set A		Tm_1h i WS_1h	intenzitet	266915,15	505,88	0,3107	0,1838	51563
Set A		Tm_3h i WS_1h	intenzitet	267036	626,73	0,3089	0,1834	51563
Set A		Tm_10min i WS_3h	intenzitet	267637,94	1228,67	0,3004	0,1766	51563
Set A		Tm_1h i WS_3h	intenzitet	267673,56	1264,29	0,2999	0,1763	51563
Set A		Tm_3h i WS_3h	intenzitet	267789,39	1380,12	0,2982	0,1760	51563
Set A		Tm_chng_rang_3h	intenzitet	266067,96	0,00	0,3229	0,1926	51563
Set A		Tm_diff_3h	intenzitet	266204,47	136,52	0,3209	0,1925	51563
Set A	S2 Dinamika temperature	none	intenzitet	266409,27	341,31	0,3179	0,1904	51563
Set A		Tm_chng_rang_1h	intenzitet	266409,93	341,97	0,3179	0,1906	51563
Set A		Tm_diff_1h	intenzitet	266411,24	343,28	0,3179	0,1904	51563
Set A		WS_diff_1h	intenzitet	265987,55	0,00	0,3241	0,1935	51563
Set A		WS_chng_rang_1h	intenzitet	265990,89	3,34	0,3240	0,1926	51563
Set A	S3 Dinamika brzine vjetra	WS_diff_3h	intenzitet	266056,19	68,64	0,3231	0,1930	51563
Set A		WS_chng_rang_3h	intenzitet	266063,91	76,36	0,3230	0,1925	51563
Set A		none	intenzitet	266067,96	80,41	0,3229	0,1926	51563
Set A	S4	Tm x WS	intenzitet	265657,12	0,00	0,3290	0,1945	51563
Set A	Interakcije	none	intenzitet	265987,55	330,43	0,3241	0,1925	51563
Set B	S0 Model odabran za Set A	sezonska dinamika (s(julian_day_c, by = Q_night)) + kvartili noći (Q_night) + moon_effective + slučajni učinak loc_year + Tm_avg_3h + WS_avg_1h + Tm_chng_rang_3h + WS_diff_1h + Tm x WS	pojava	70973,69	-	0,2719	0,3139	73492
Set B	S1 Osnovne vrijednosti relativne vlažnosti	Hm_10min	pojava	70913,4	0,00	0,2727	0,3144	73492
Set B		Hm_1h	pojava	70916,67	3,27	0,2726	0,3144	73492
Set B		Hm_3h	pojava	70939,44	26,04	0,2724	0,3142	73492
Set B		Hm_chng_rang_3h	pojava	70809,23	0,00	0,2737	0,3155	73492
Set B	S2 Dinamika relativne vlažnosti	Hm_chng_rang_1h	pojava	70857,05	47,82	0,2733	0,3152	73492
Set B		Hm_diff_3h	pojava	70868,84	59,61	0,2732	0,3151	73492
Set B		Hm_diff_1h	pojava	70903,87	94,64	0,2728	0,3146	73492
Set B		Hm_none	pojava	70913,4	104,17	0,2727	0,3144	73492
Set B		Ba_anom_10min	pojava	70388,42	0,00	0,2783	0,3210	73492
Set B	S3 Osnovne vrijednosti atmosferskog tlaka	Ba_0_10min	pojava	70525,51	137,09	0,2768	0,3194	73492
Set B		Ba_s_3h	pojava	70615,58	227,16	0,2759	0,3183	73492
Set B		Ba_s_1h	pojava	70619,64	231,22	0,2759	0,3182	73492
Set B		Ba_s_10min	pojava	70630,21	241,79	0,2757	0,3181	73492
Set B		Ba_diff_3h	pojava	70349,62	0,00	0,2788	0,3214	73492
Set B		Ba_diff_1h	pojava	70363,35	13,73	0,2786	0,3213	73492
Set B	S4 Dinamika atmosferskog tlaka	Ba_chng_rang_1h	pojava	70365,69	16,07	0,2785	0,3212	73492
Set B		Ba_chng_rang_3h	pojava	70376,28	26,66	0,2784	0,3212	73492
Set B		none	pojava	70388,42	38,80	0,2783	0,3210	73492
Set B		Tm x Hm	pojava	70112,68	0,00	0,2816	0,3244	73492

Izvor	Korak	Kandidat	Model	AIC	ΔAIC unutar koraka	Dev _expl	R ² _adj	n
Set B	S5 Interakcije	WS x Hm	pojava	70134,37	21,69	0,2812	0,3235	73492
Set B		Tm x WS	pojava	70166,42	53,74	0,2809	0,3234	73492
Set B		none	pojava	70349,62	236,94	0,2788	0,3214	73492
Set B	S0 Model odabran za Set A	sezonska dinamika (s(julian_day_c, by = Q_night)) + kvartili noći (Q_night) + moon_effective + slučajni učinak loc_year + Tm_avg_10min + WS_avg_10min + Tm_chng_rang_3h + WS_diff_1h + Tm x WS	intenzitet	141534,26	-	0,4195	0,2954	27551
Set B	S1 Osnovne vrijednosti relativne vlažnosti	Hm_10min	intenzitet	141296,73	0,00	0,4252	0,2992	27551
Set B		Hm_1h	intenzitet	141320,99	24,26	0,4246	0,2982	27551
Set B		Hm_3h	intenzitet	141358,42	61,69	0,4238	0,2970	27551
Set B	S2 Dinamika relativne vlažnosti	Hm_chng_rang_3h	intenzitet	141108,18	0,00	0,4298	0,2992	27551
Set B		Hm_diff_3h	intenzitet	141185,51	77,32	0,4279	0,2985	27551
Set B		Hm_chng_rang_1h	intenzitet	141254,16	145,98	0,4263	0,2996	27551
Set B		Hm_diff_1h	intenzitet	141258,85	150,67	0,4262	0,2992	27551
Set B		none	intenzitet	141296,73	188,54	0,4252	0,2992	27551
Set B	S3 Osnovne vrijednosti atmosferskog tlaka	Ba_0_10min	intenzitet	141050,36	0,00	0,4314	0,2988	27551
Set B		Ba_s_3h	intenzitet	141078,74	28,38	0,4306	0,3007	27551
Set B		Ba_anom_10min	intenzitet	141084,87	34,51	0,4304	0,3017	27551
Set B		Ba_s_1h	intenzitet	141086,53	36,17	0,4304	0,3004	27551
Set B		Ba_s_10min	intenzitet	141089,59	39,23	0,4303	0,3004	27551
Set B	S4 Dinamika atmosferskog tlaka	Ba_chng_rang_1h	intenzitet	141018,06	0,00	0,4322	0,2997	27551
Set B		Ba_diff_3h	intenzitet	141048,77	30,71	0,4316	0,3008	27551
Set B		none	intenzitet	141050,36	32,30	0,4314	0,2988	27551
Set B		Ba_chng_rang_3h	intenzitet	141070,33	52,28	0,4308	0,3011	27551
Set B		Ba_diff_1h	intenzitet	141080,67	62,61	0,4306	0,3013	27551
Set B	S5 Interakcije	Tm x Hm	intenzitet	140631,36	34,56	0,4416	0,3114	27551
Set B		Tm x WS	intenzitet	140773,86	177,06	0,4382	0,2991	27551
Set B		WS x Hm	intenzitet	140785,58	188,79	0,4381	0,3041	27551
Set B		none	intenzitet	141018,06	421,26	0,4322	0,2997	27551

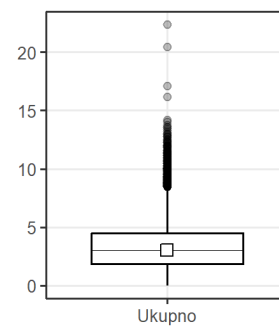
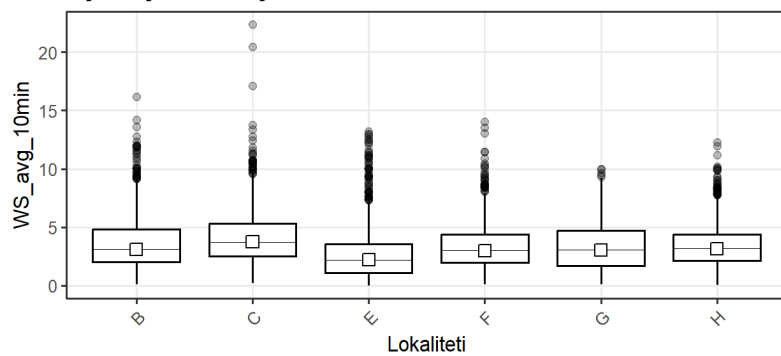
Prilog 5. Box-whisker dijagrami prediktora, završni model – Set B

Box-whisker dijagrami prediktora korištenih u završnom dvodijelnom (*hurdle*) GAMM modelu za opažanja za koja postoje istovremena mjerenja temperature, brzine vjetra, relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka (set B) korištenih u poglavlju 4.4.3. Tablica 17 opisuje kratice mikroklimatskih varijabli.

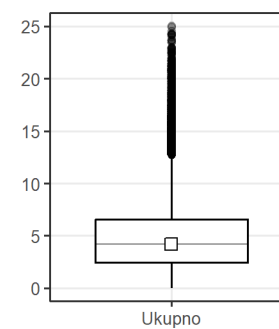
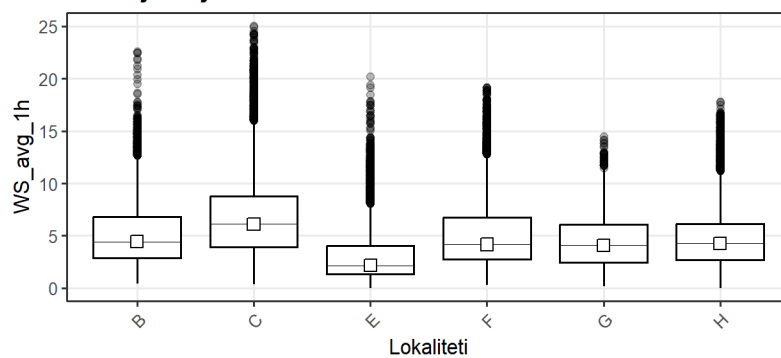




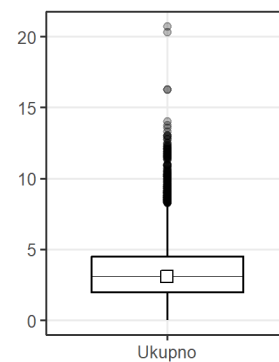
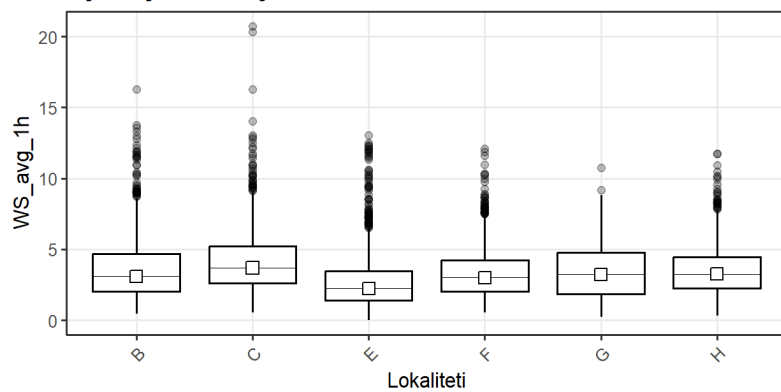
Mjerenja u slučaju N>0



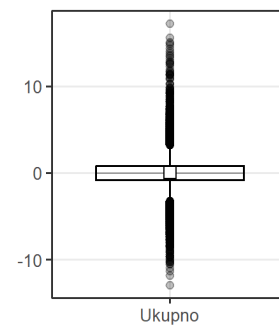
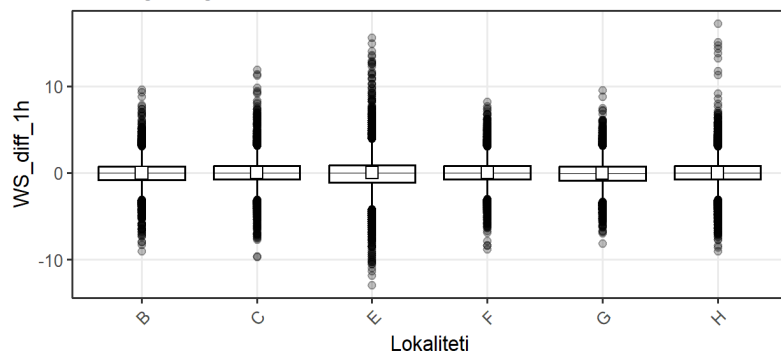
Sva mjerenja

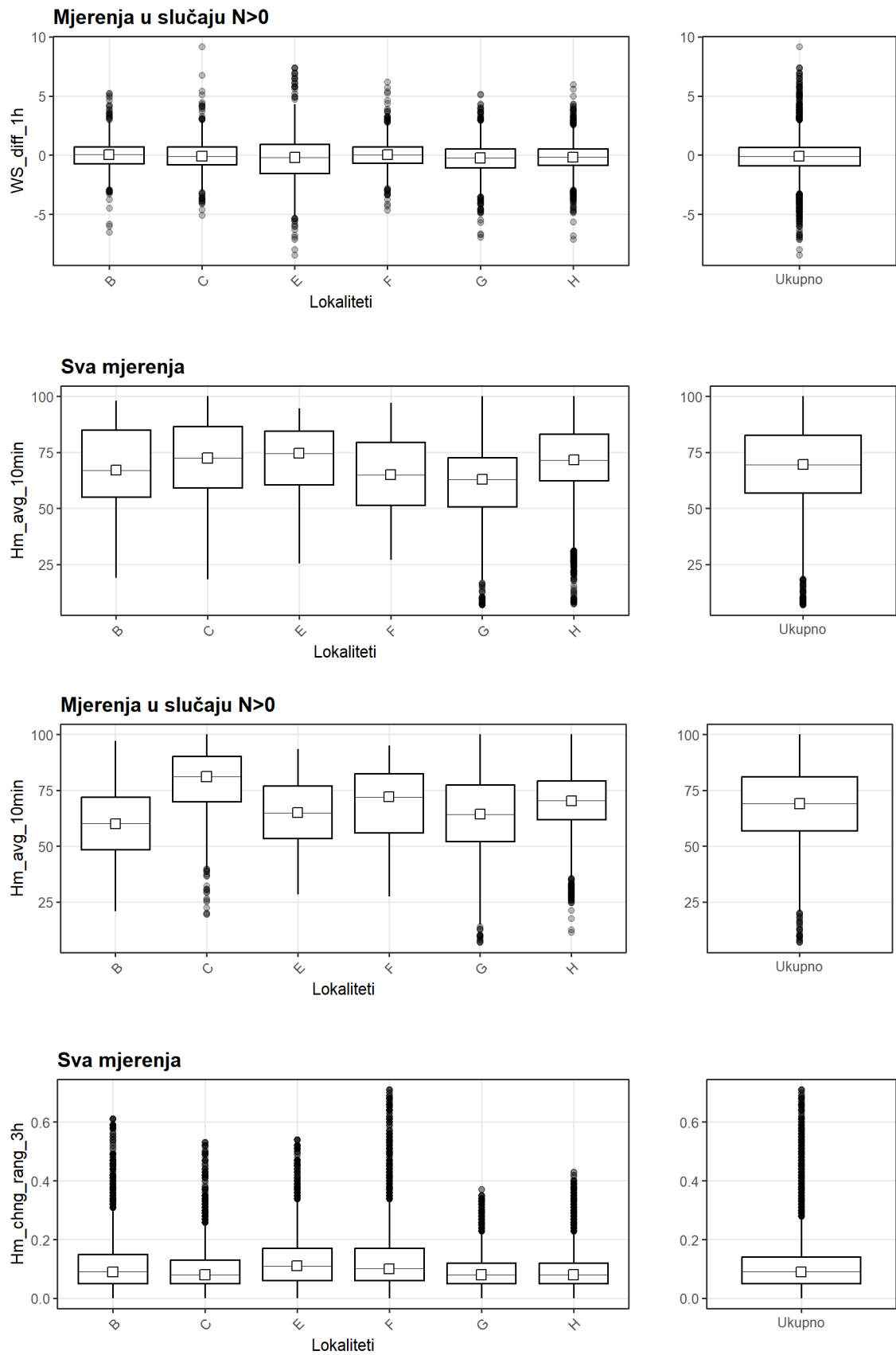


Mjerenja u slučaju N>0

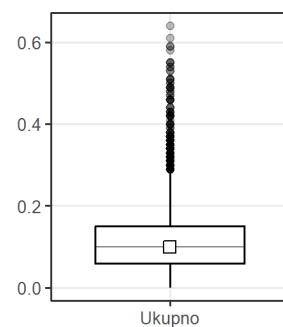
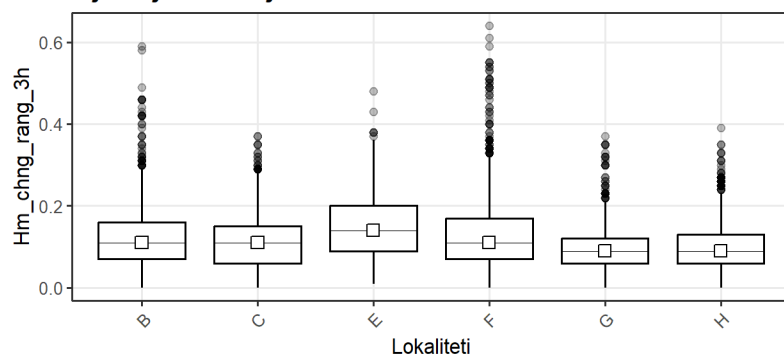


Sva mjerenja

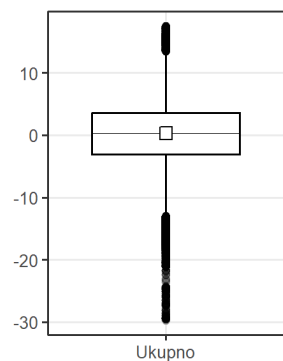
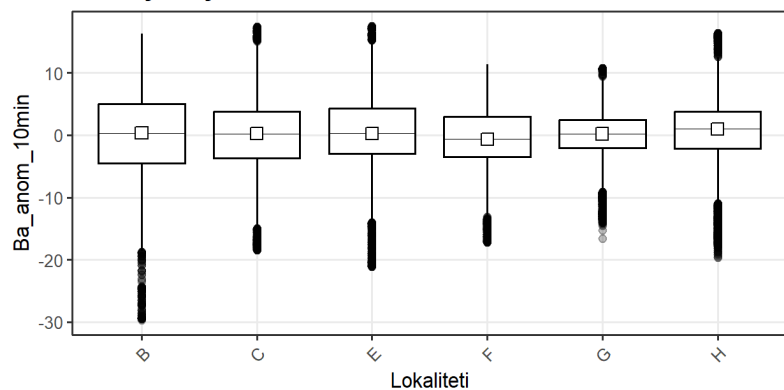




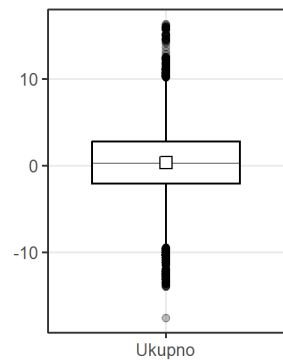
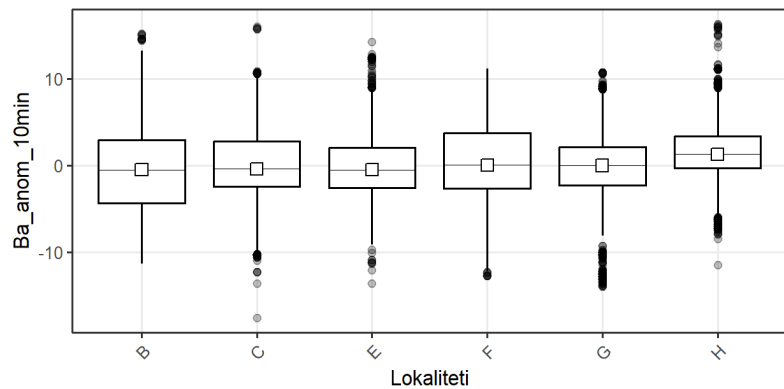
Mjerenja u slučaju N>0



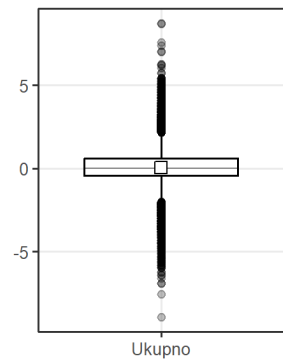
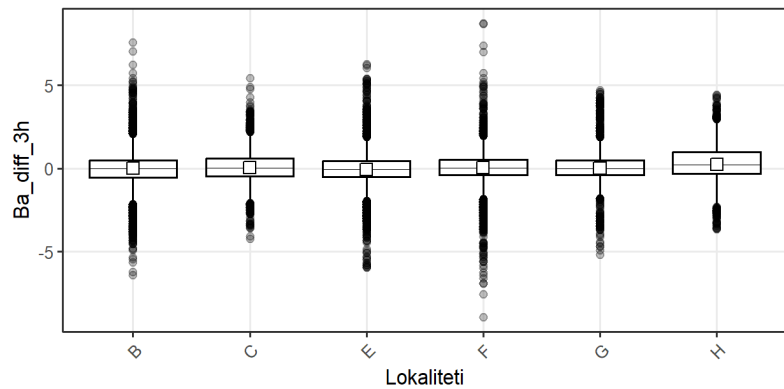
Sva mjerenja

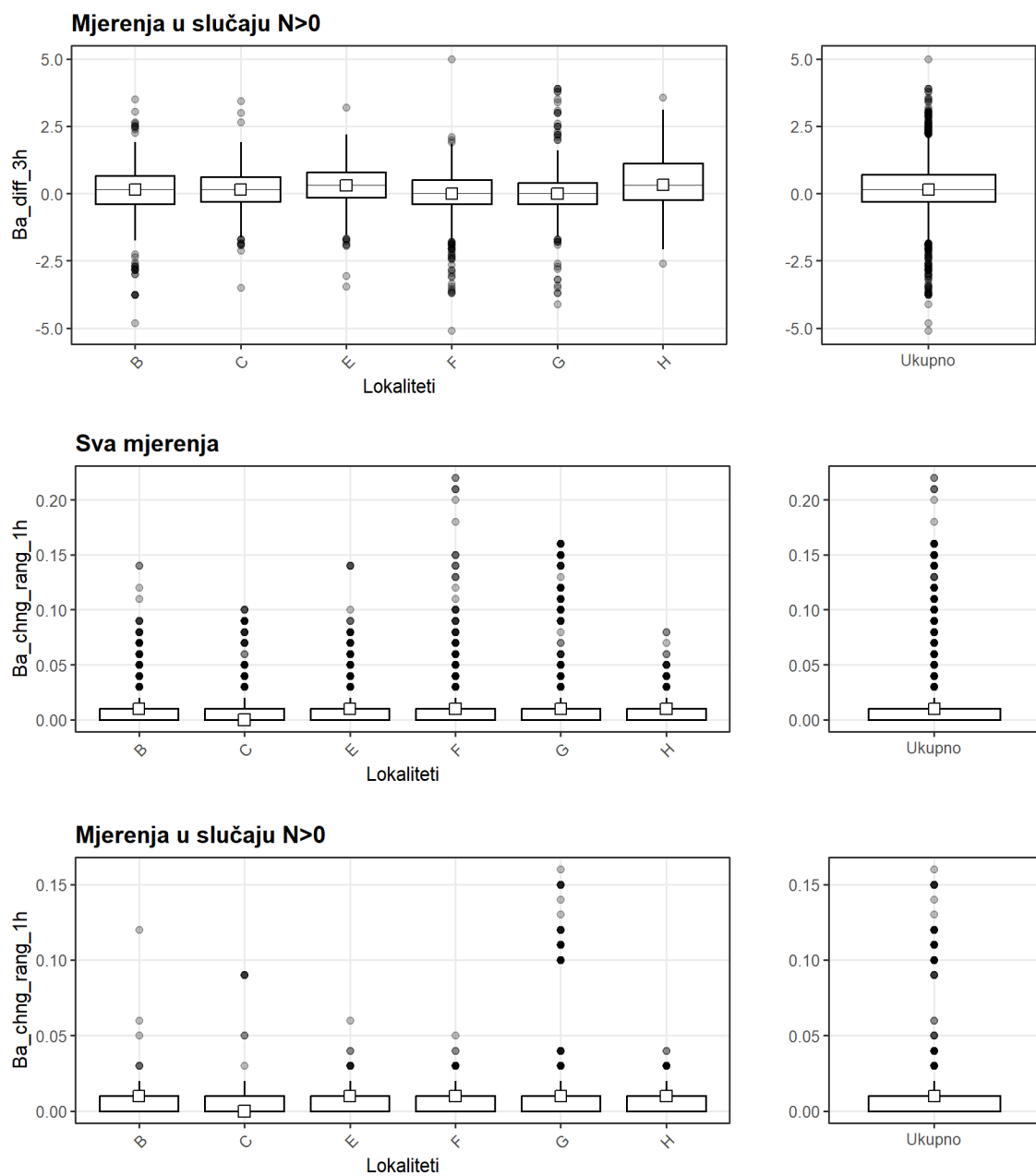


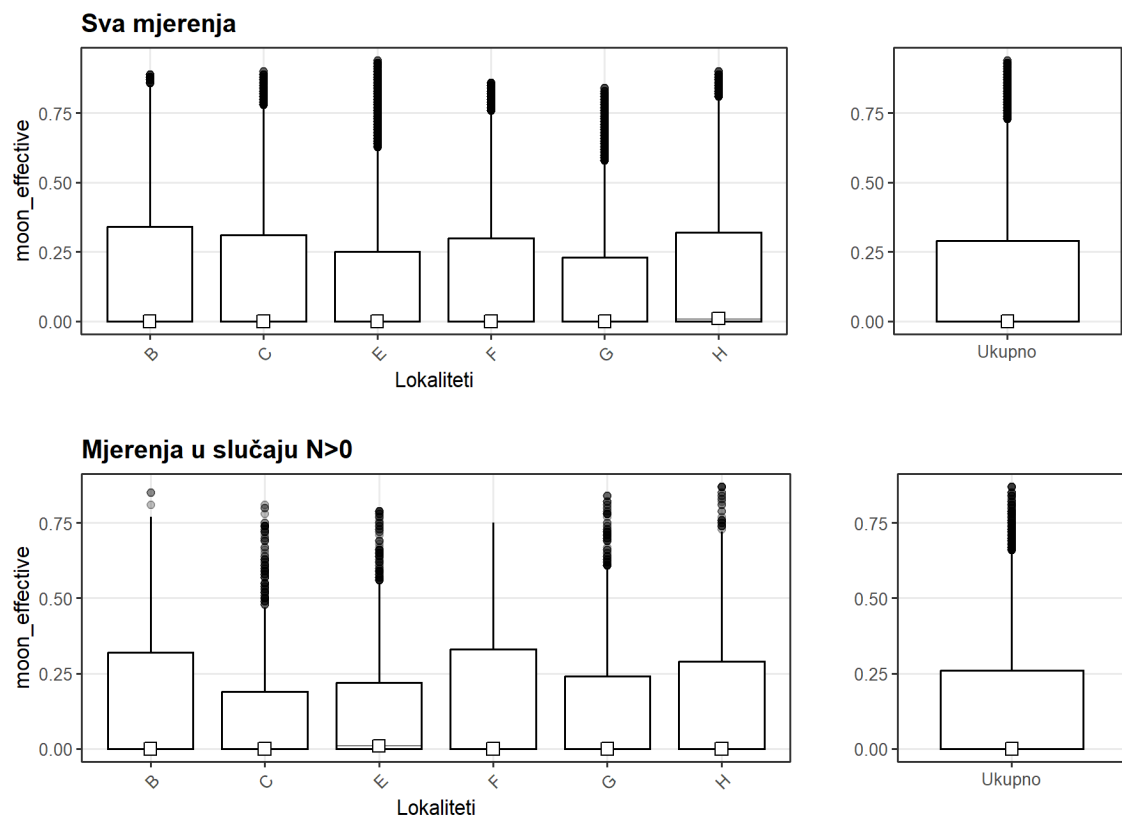
Mjerenja u slučaju N>0



Sva mjerenja

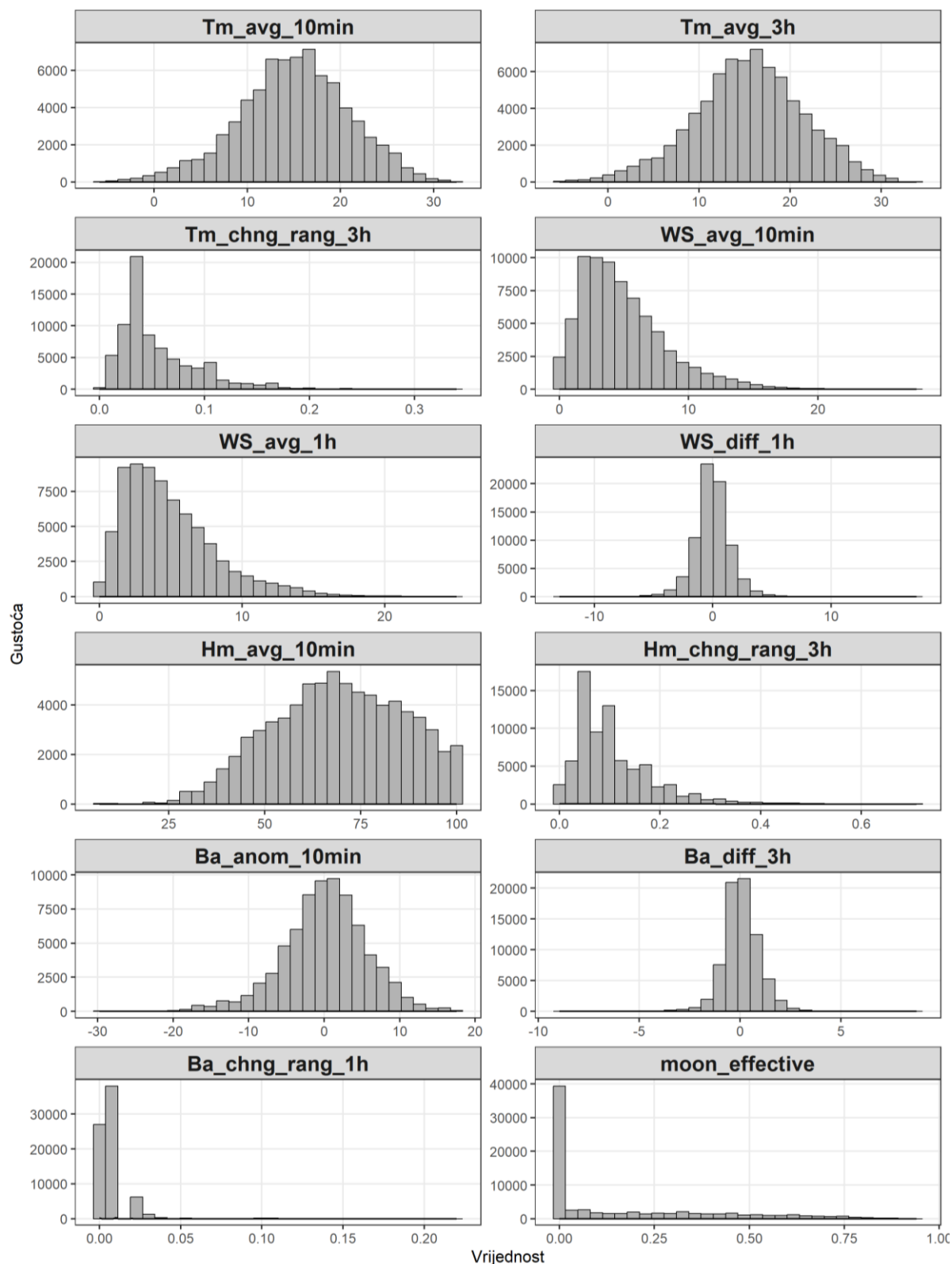






Prilog 6. Distribucija prediktora, završni model – Set B

Histogrami distribucije prediktora korištenih u završnom dvodijelnom (*hurdle*) GAMM modelu za opažanja za koja postoje istovremena mjerenja temperature, brzine vjetra, relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka (set B) korištenih u poglavlju 4.4.3. Tablica 17 opisuje kratice mikroklimatskih varijabli.



Prilog 7. Pearson korelacijske matrice prediktora, završni model – Set B

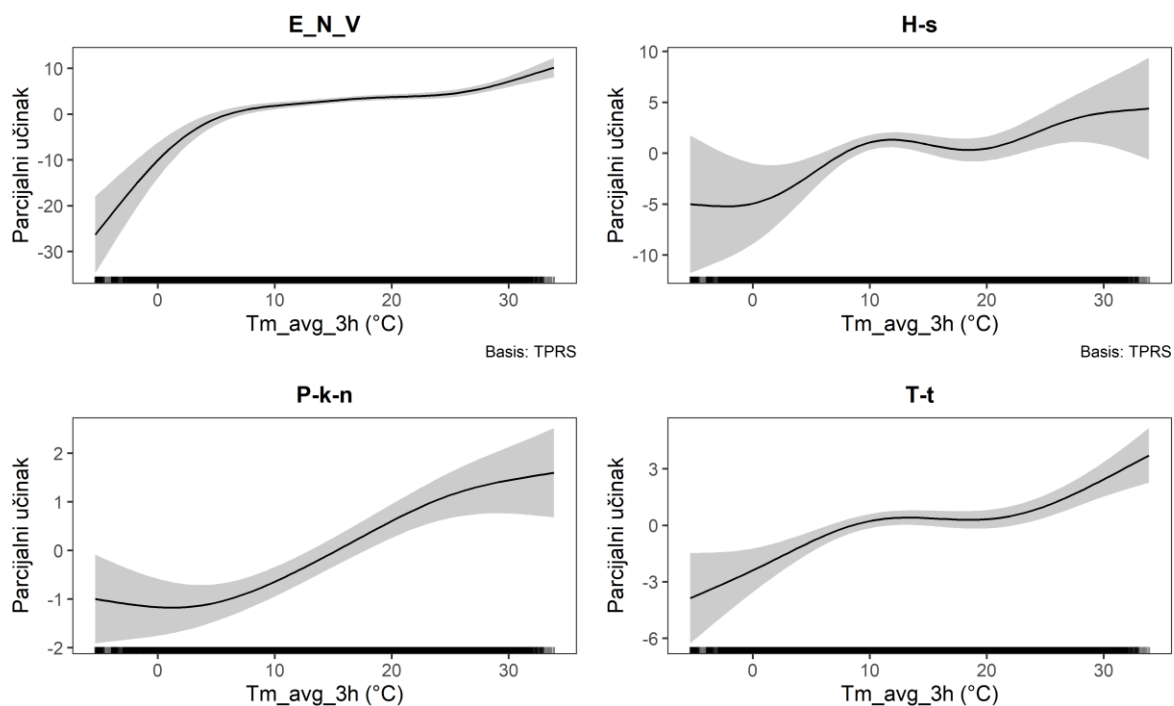
Pearson korelacijske matrice prediktora korištenih u završnom dvodijelnom (*hurdle*) GAMM modelu pojave i intenziteta aktivnosti šišmiša za opažanja za koja postoje istovremena mjerenja temperature, brzine vjetra, relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka (Set B) korištenih u poglavlju 4.4.3. Tablica 17 opisuje kratice mikroklimatskih varijabli (crveno označeno $p < 0,05$).

			Relativna mjesečina	Julijanski dan	Temperatura zraka		Dinamika temperature zraka	Brzina vjetra		Dinamika brzine vjetra	Relativna vlažnost	Dinamika relativne vlažnosti	Anomalija atm. tlaka	Dinamika atm. tlaka	
			pojava intenzitet	pojava intenzitet	pojava	intenzitet	pojava intenzitet	pojava	intenzitet	pojava intenzitet	pojava intenzitet	pojava intenzitet	pojava intenzitet	pojava	intenzitet
			moon effective	julian day	Tm avg 3h	Tm avg 10min	Tm chng rang 3h	WS avg 1h	WS avg 10min	WS diff 1h	Hm avg 10min	Hm chng rang 3h	Ba anom 10min	Ba diff 3h	Ba chng rang 1h
Relativna mjesečina	pojava intenzitet	moon effective		0,07	-0,11	-0,1	-0,08	0,07	0,07	0,01	0,02	-0,05	0,01	-0,02	0,01
Julijanski dan	pojava intenzitet	julian day	0,07		-0,05	-0,04	-0,02	-0,04	-0,04	0	0,13	-0,06	0,25	-0,06	0,05
Temperatura zraka	pojava	Tm avg 3h	-0,11	-0,05		0,99	0,27	-0,18	-0,18	-0,02	-0,36	0,16	-0,08	0,02	-0,07
	intenzitet	Tm avg 10min	-0,1	-0,04	0,99		0,2	-0,17	-0,17	-0,02	-0,36	0,14	-0,08	-0,01	-0,07
Dinamika temperature zraka	pojava intenzitet	Tm chng rang 3h	-0,08	-0,02	0,27	0,2		-0,21	-0,21	-0,02	-0,17	0,51	0,08	0,2	0,08
Brzina vjetra	pojava	WS avg 1h	0,07	-0,04	-0,18	-0,17	-0,21		0,97	0,01	-0,16	-0,11	-0,19	0,03	0,14
	intenzitet	WS avg 10min	0,07	-0,04	-0,18	-0,17	-0,21	0,97		0,24	-0,15	-0,11	-0,19	0,02	0,14
Dinamika brzine vjetra	pojava intenzitet	WS diff 1h	0,01	0	-0,02	-0,02	-0,02	0,01	0,24		0,02	0,01	-0,01	-0,06	0,01
Relativna vlažnost	pojava intenzitet	Hm avg 10min	0,02	0,13	-0,36	-0,36	-0,17	-0,16	-0,15	0,02		-0,11	-0,22	-0,08	0,04
Dinamika relativne vlažnosti	pojava intenzitet	Hm chng rang 3h	-0,05	-0,06	0,16	0,14	0,51	-0,11	-0,11	0,01	-0,11		0	0,09	0,09
Anomalija atm. tlaka	pojava intenzitet	Ba anom 10min	0,01	0,25	-0,08	-0,08	0,08	-0,19	-0,19	-0,01	-0,22	0		0,11	-0,16
Dinamika atm. tlaka	pojava	Ba diff 3h	-0,02	-0,06	0,02	-0,01	0,2	0,03	0,02	-0,06	-0,08	0,09	0,11		-0,02
	intenzitet	Ba chng rang 1h	0,01	0,05	-0,07	-0,07	0,08	0,14	0,14	0,01	0,04	0,09	-0,16	-0,02	

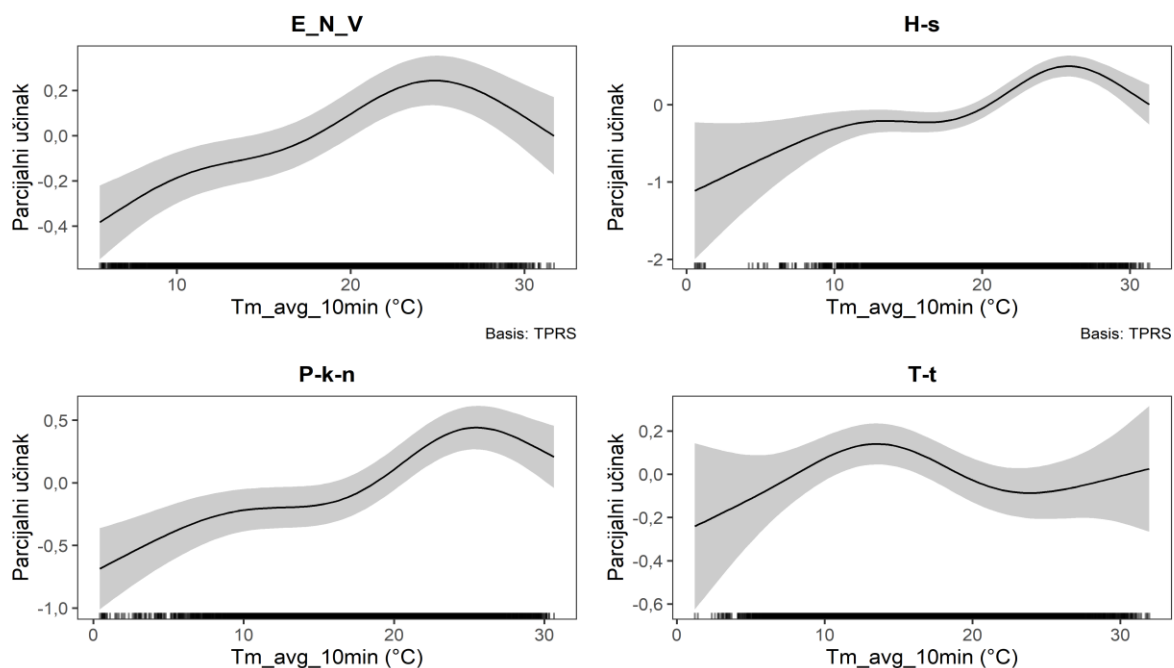
Prilog 8. Parcijalni učinak mikroklimatskih prediktora dominantnih vrsta i fonetskih skupina šišmiša – Set A

Završni dvodijelni (*hurdle*) GAMM modeli za sva opažanja za koja postoje dostupna istovremena mjerenja temperature zraka i brzine vjetra (Set A). Dominantne vrste i fonetske skupine: E_N_V – *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*, H-s – *Hypsugo savii*, P-k-n – *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii*, T-t – *Tadarida teniotis*. Tablica 17 opisuje kratice mikroklimatskih varijabli.

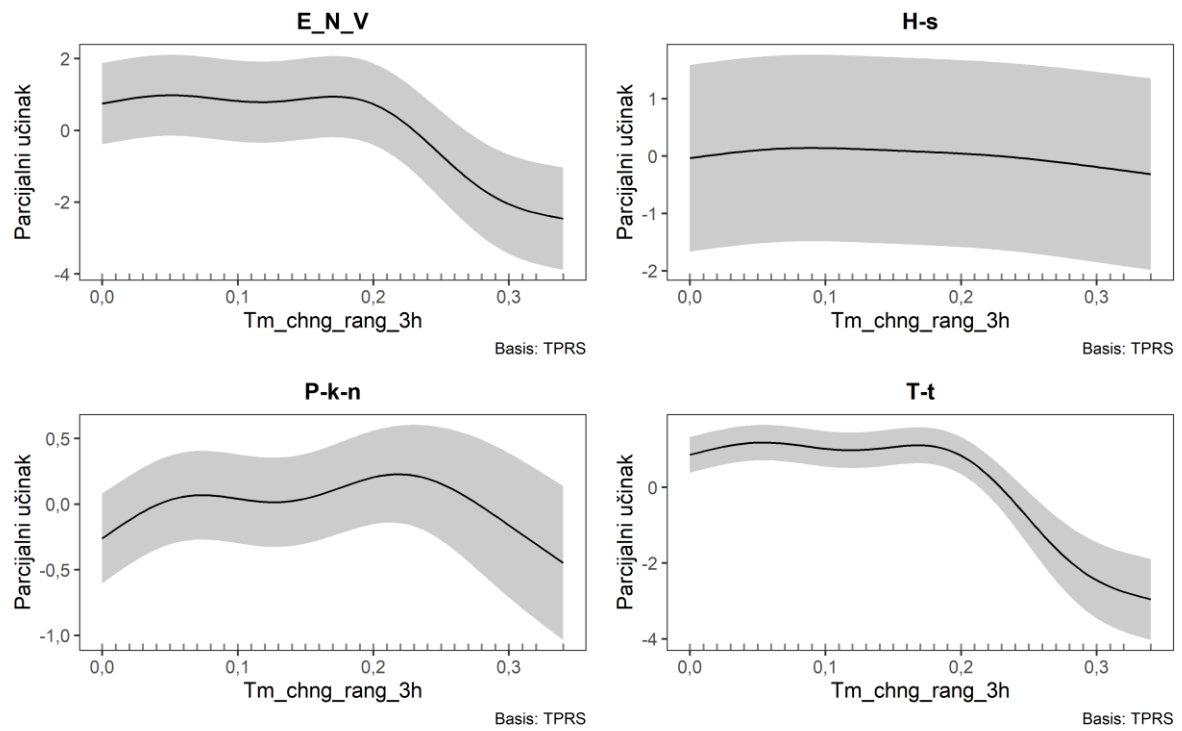
Set A — Temperatura zraka — Pojava aktivnosti



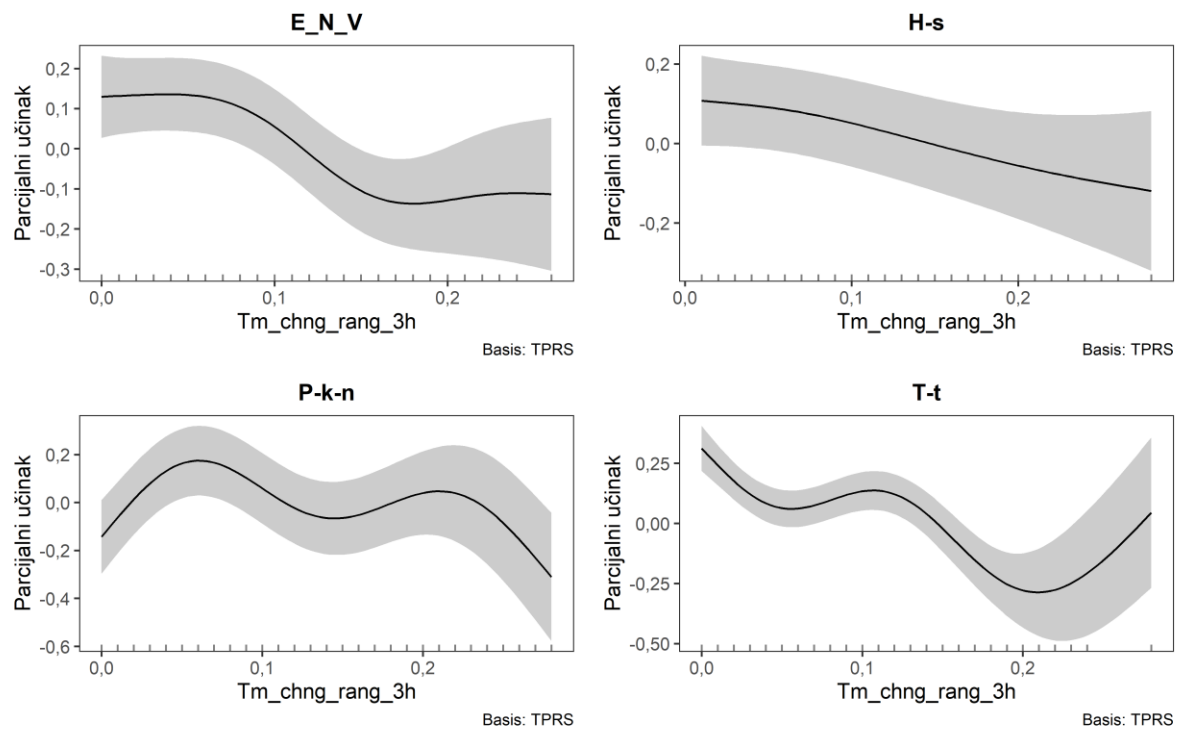
Set A — Temperatura zraka — Intenzitet aktivnosti



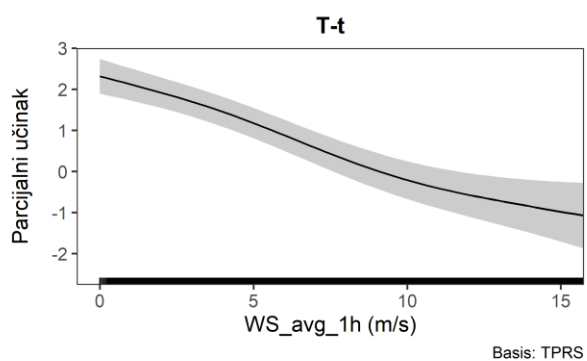
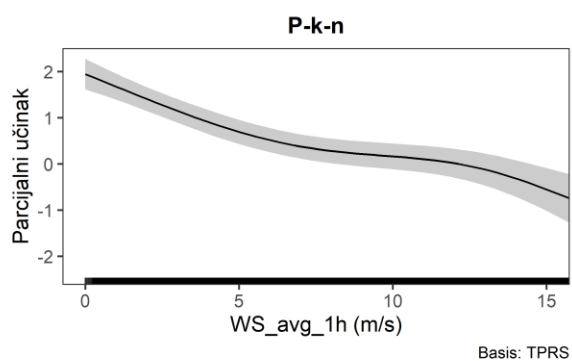
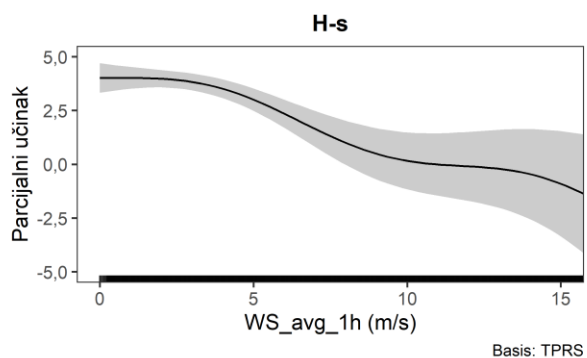
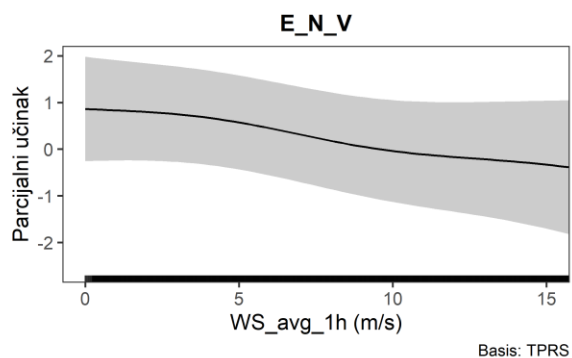
Set A — Dinamika temperature — Pojava aktivnosti



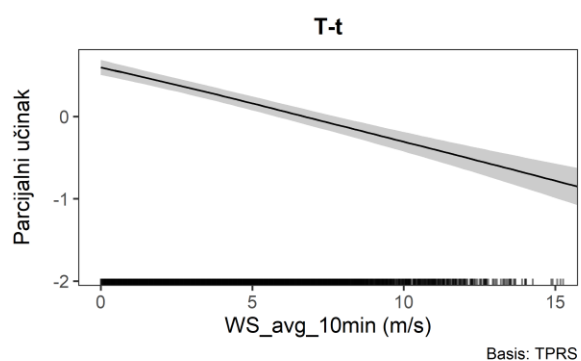
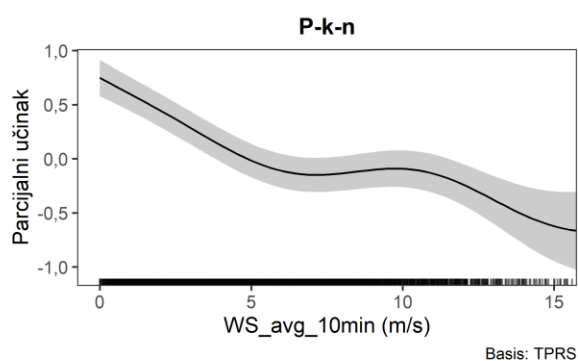
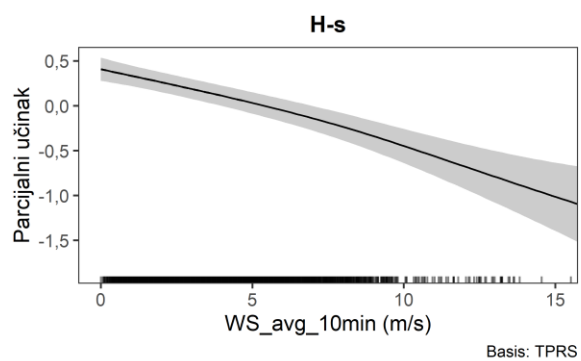
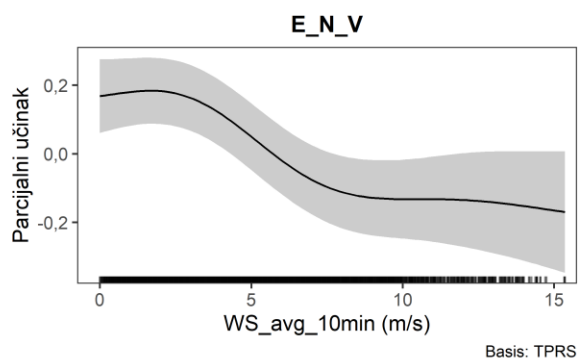
Set A — Dinamika temperature — Intenzitet aktivnosti



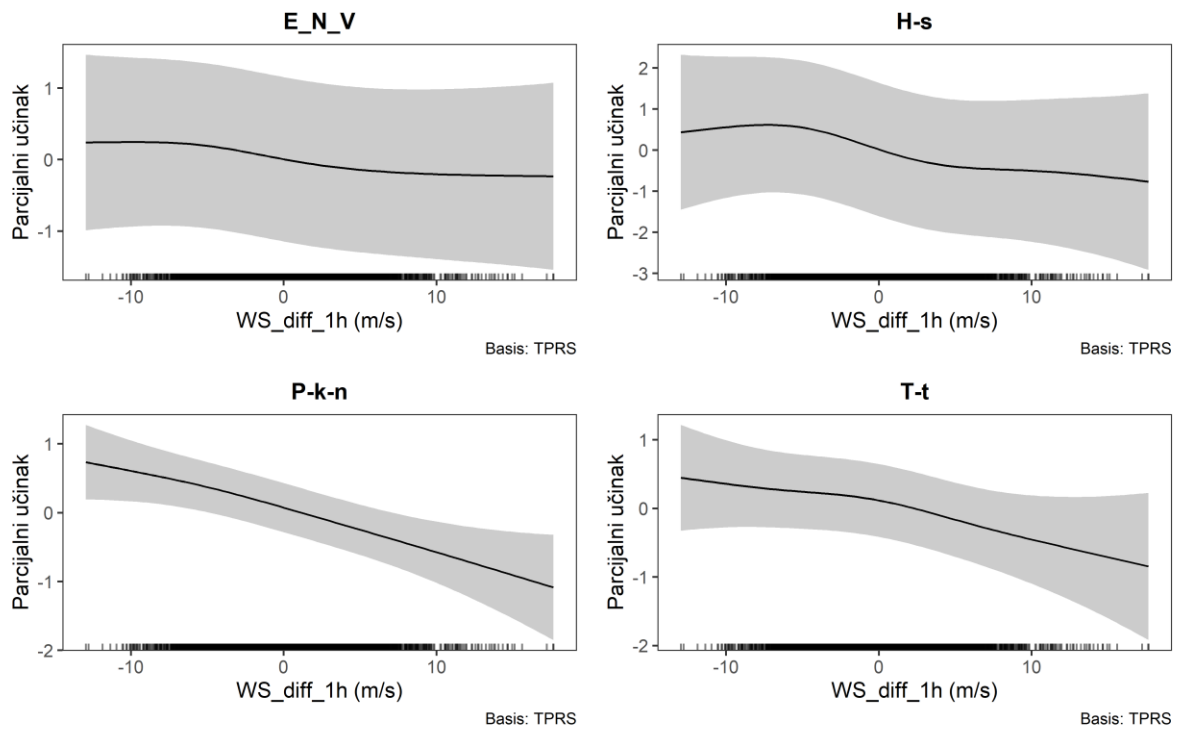
Set A — Brzina vjetra — Pojava aktivnosti



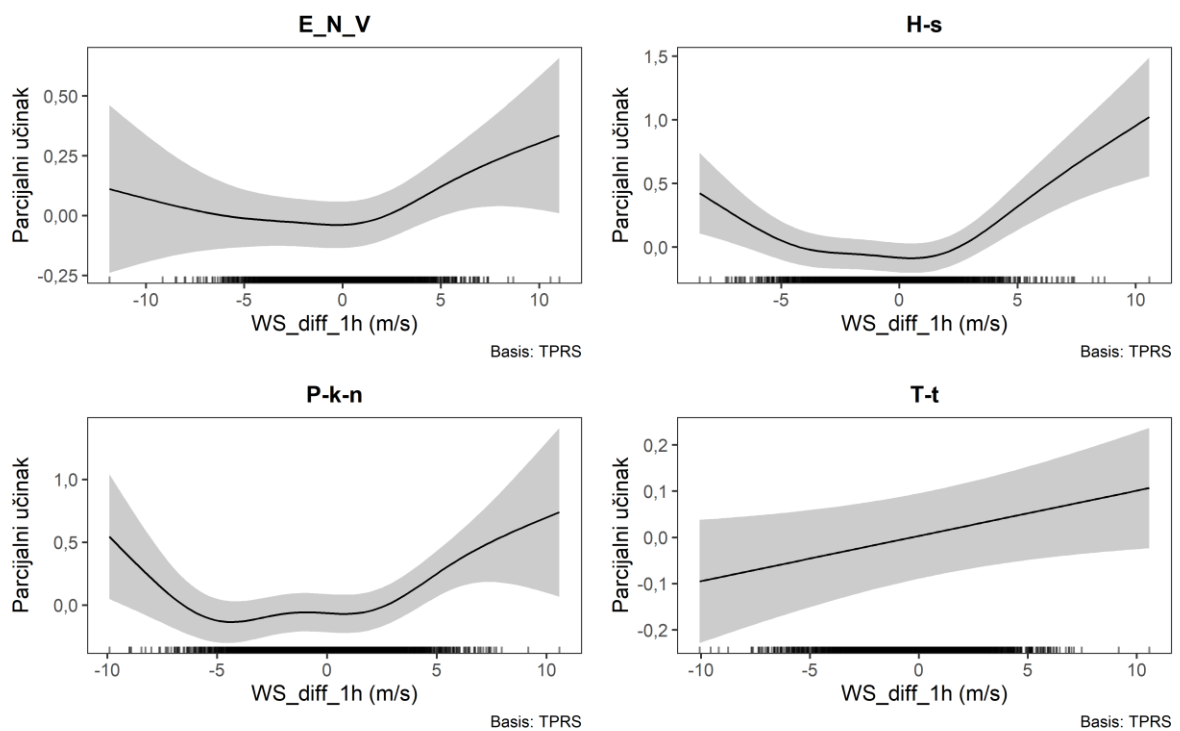
Set A — Brzina vjetra — Intenzitet aktivnosti



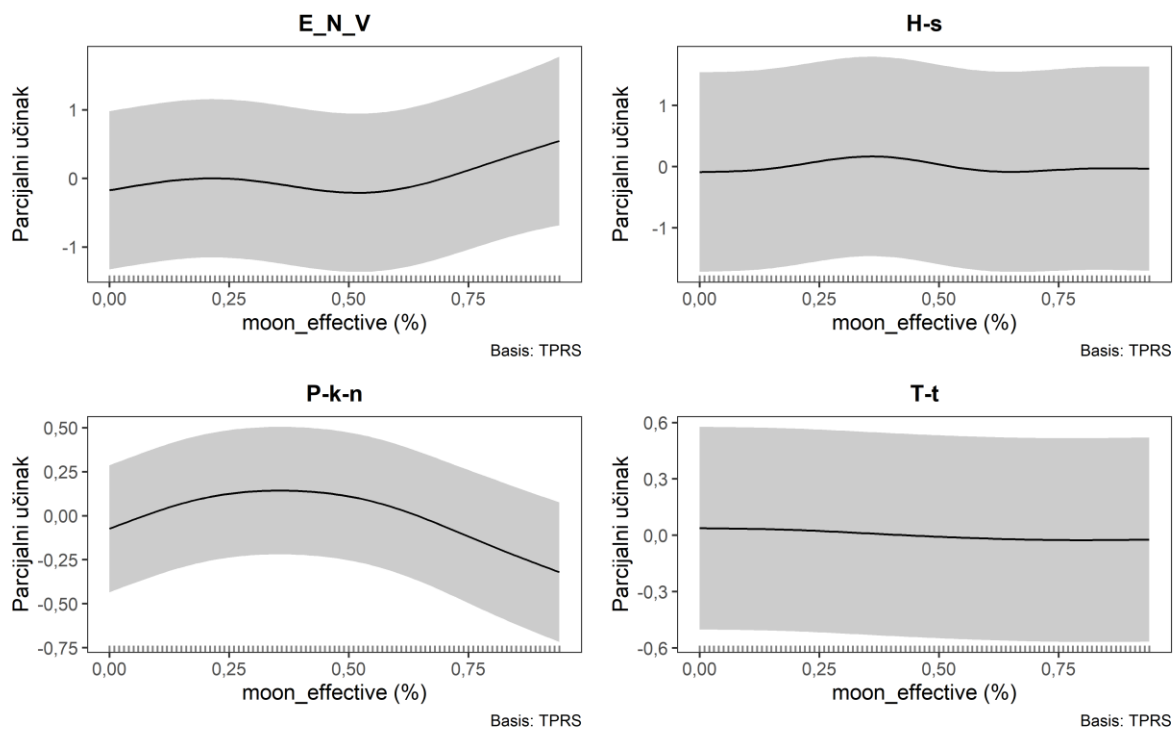
Set A — Dinamika brzine vjetra — Pojava aktivnosti



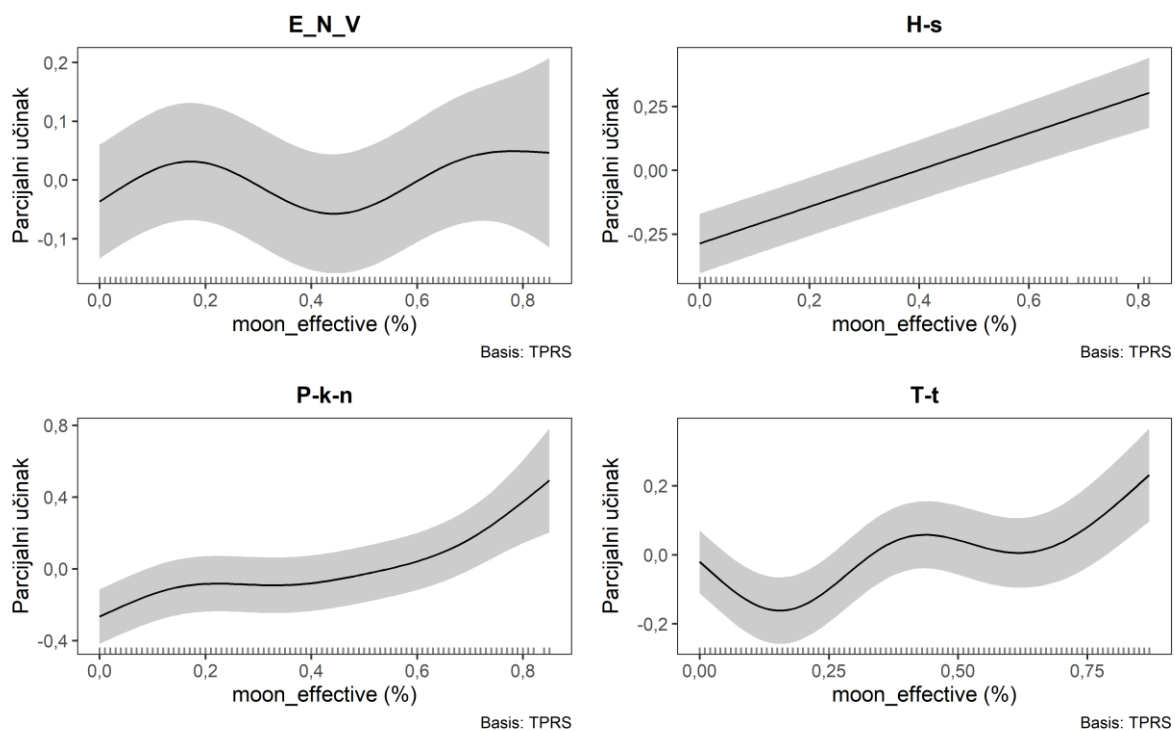
Set A — Dinamika brzine vjetra — Intenzitet aktivnosti



Set A — Relativna mjesečina — Pojava aktivnosti



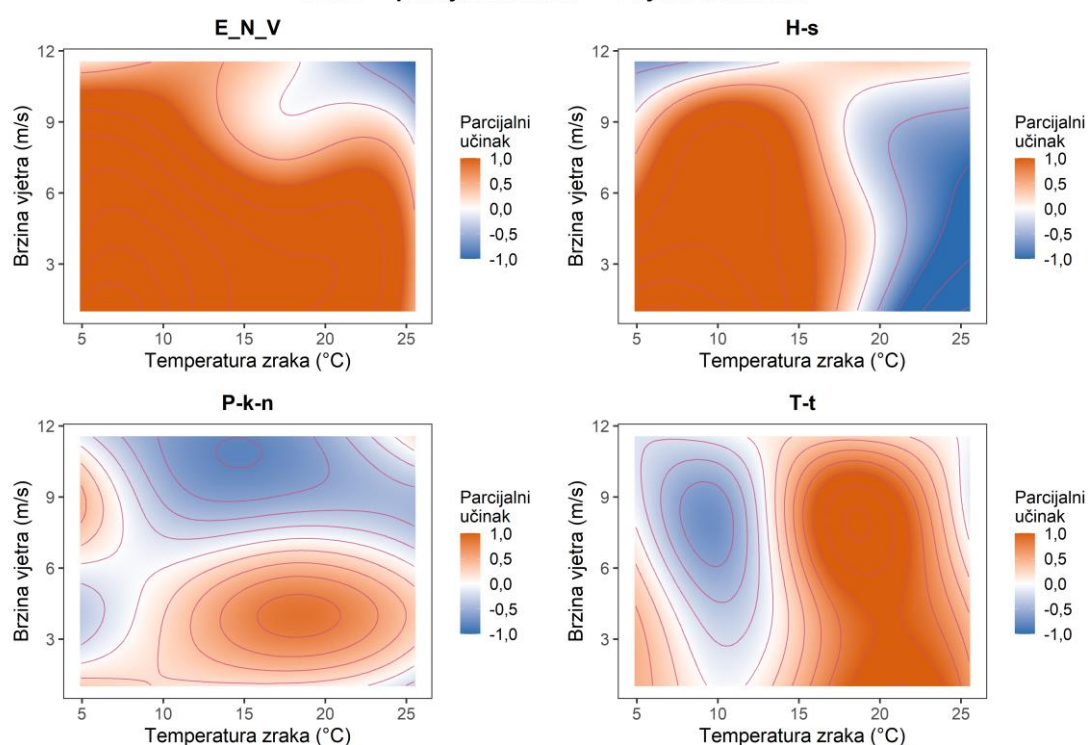
Set A — Relativna mjesečina — Intenzitet aktivnosti



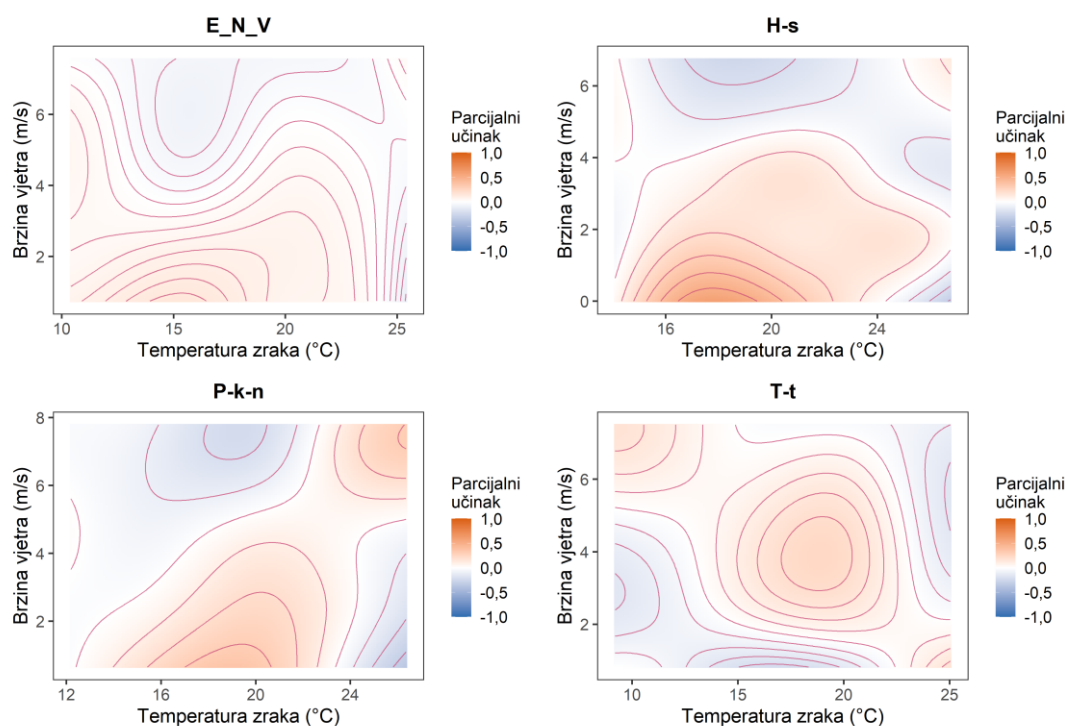
Prilog 9. Parcijalni učinak interakcija mikroklimatskih prediktora dominantnih vrsta i fonetskih skupina šišmiša – Set B

Završni dvodijelni (*hurdle*) GAMM modeli za sva opažanja za koja postoje dostupna istovremena mjerenja temperature zraka, brzine vjetra, relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka (Set B). Dominantne vrste i fonetske skupine: E_N_V – *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*, H-s – *Hypsugo savii*, P-k-n – *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii*, T-t – *Tadarida teniotis*. Prikaz je ograničen na raspon između 5. i 95. percentila vrijednosti pojedinih prediktora.

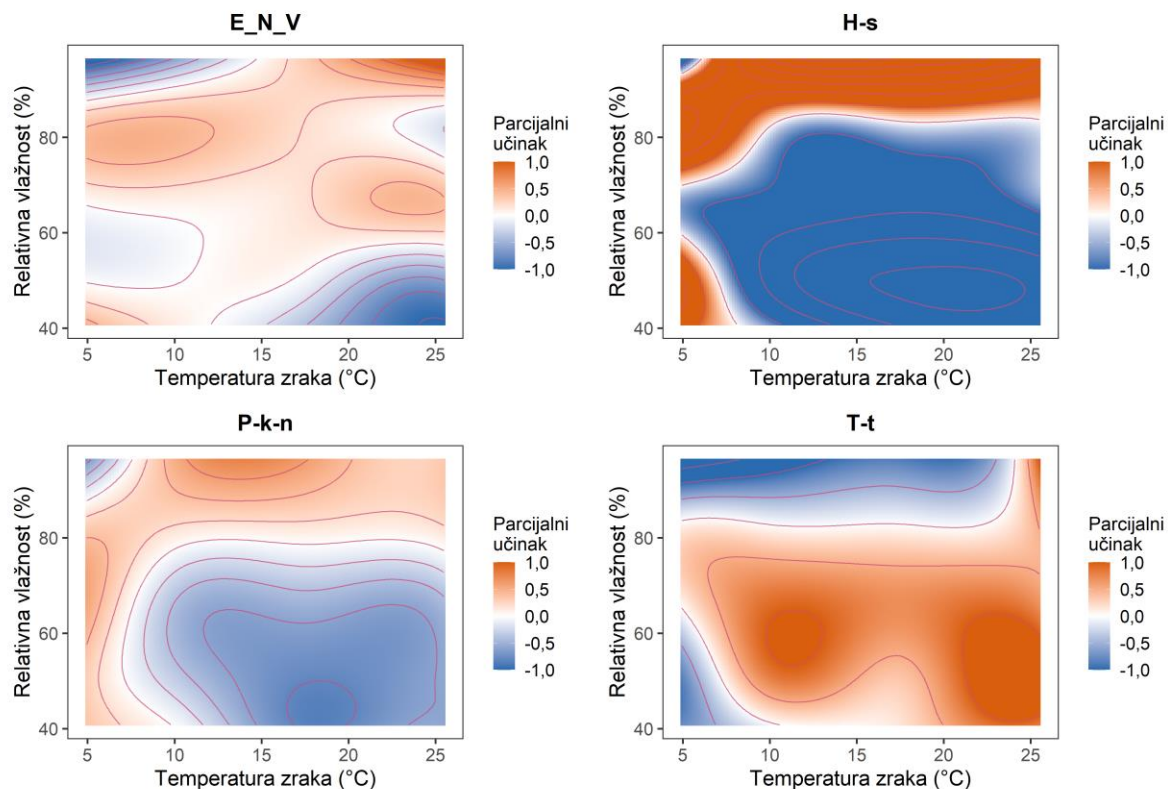
Set B — parcijalni učinak — Pojava aktivnosti



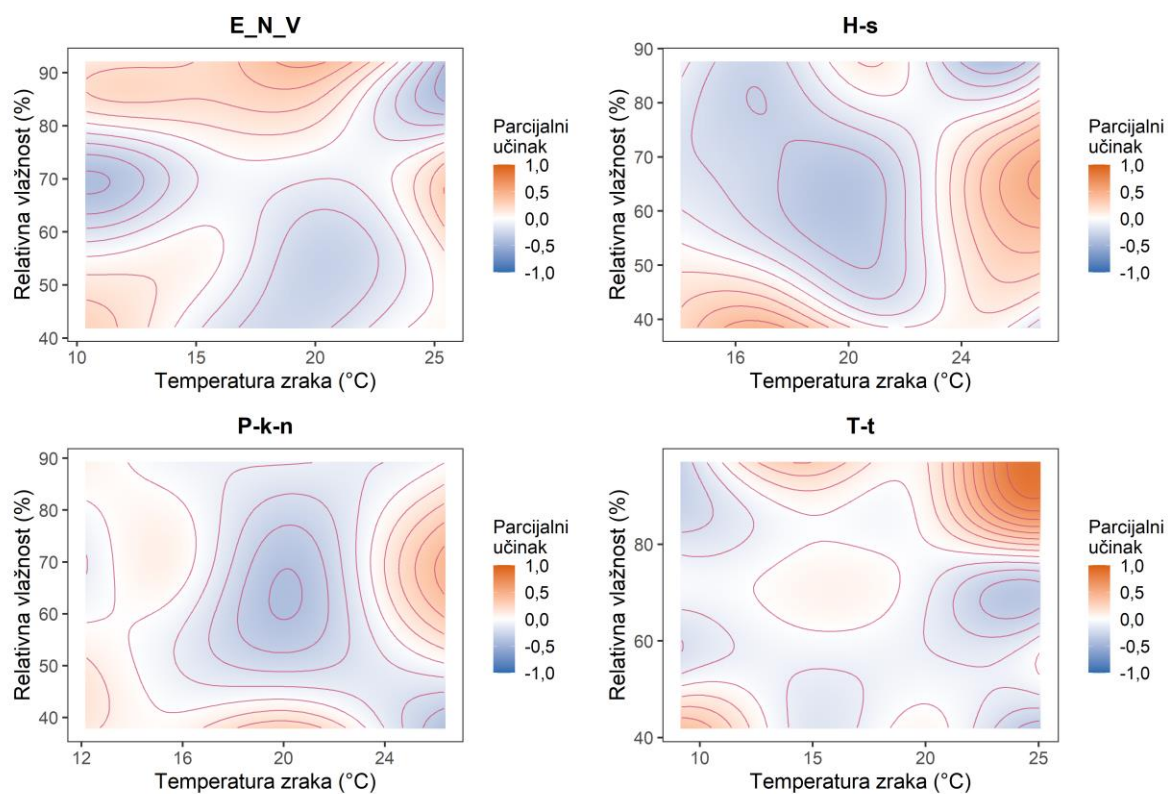
Set B — parcijalni učinak — Intenzitet aktivnosti



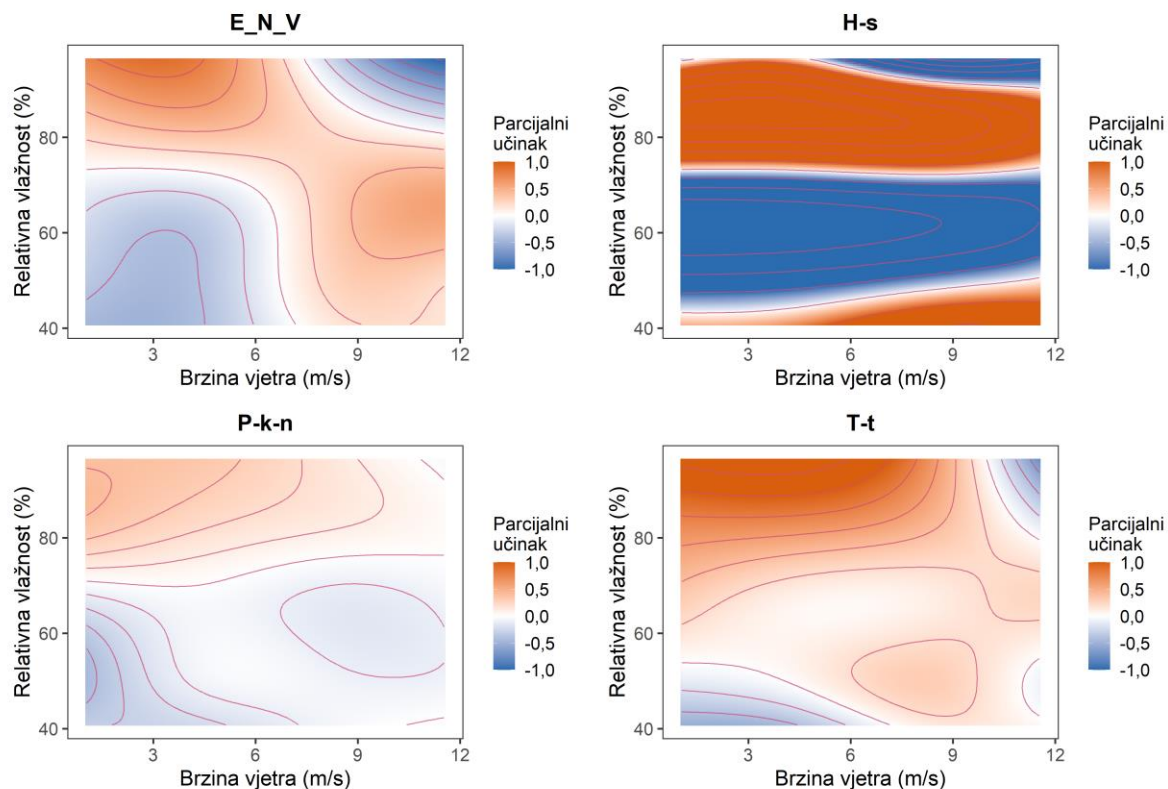
Set B — parcijalni učinak — Pojava aktivnosti



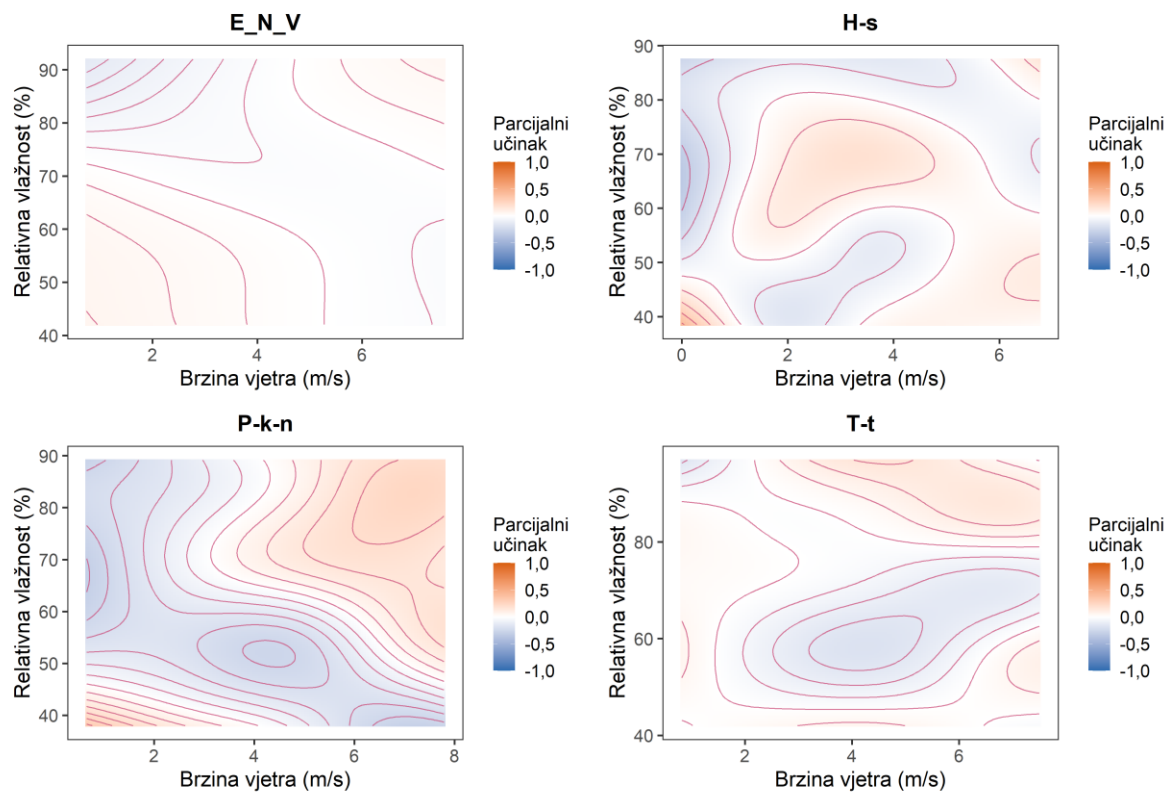
Set B — parcijalna interakcija $T_m \times H_m$ — Intenzitet aktivnosti



Set B — parcijalni učinak — Pojava aktivnosti



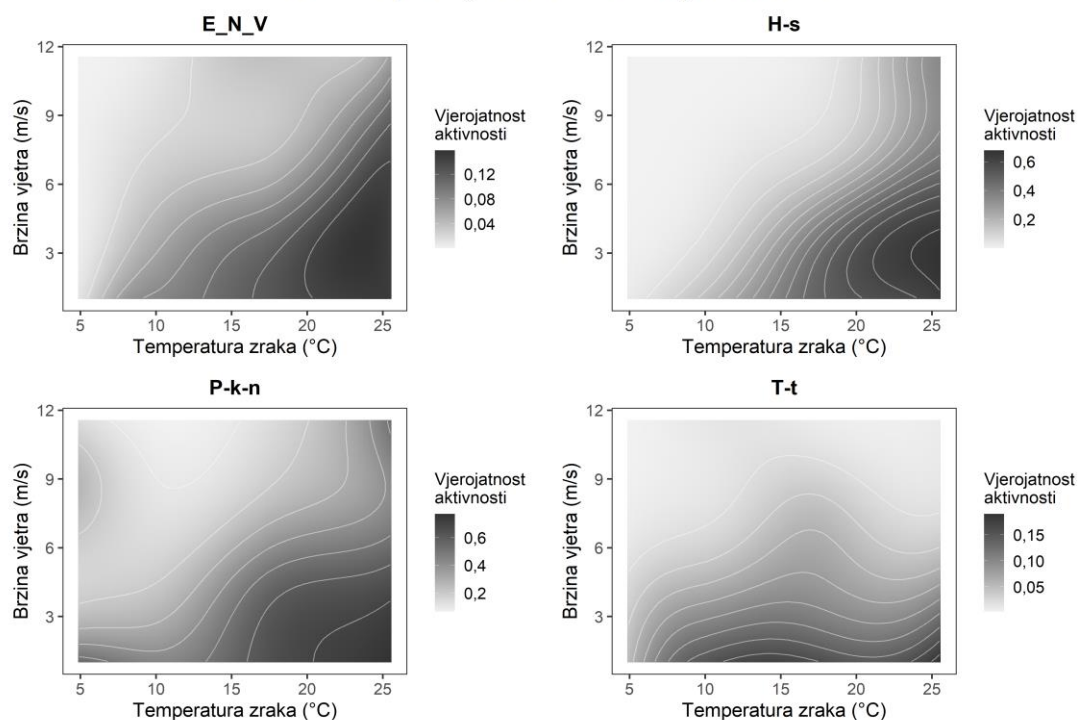
Set B — parcijalni učinak — Intenzitet aktivnosti



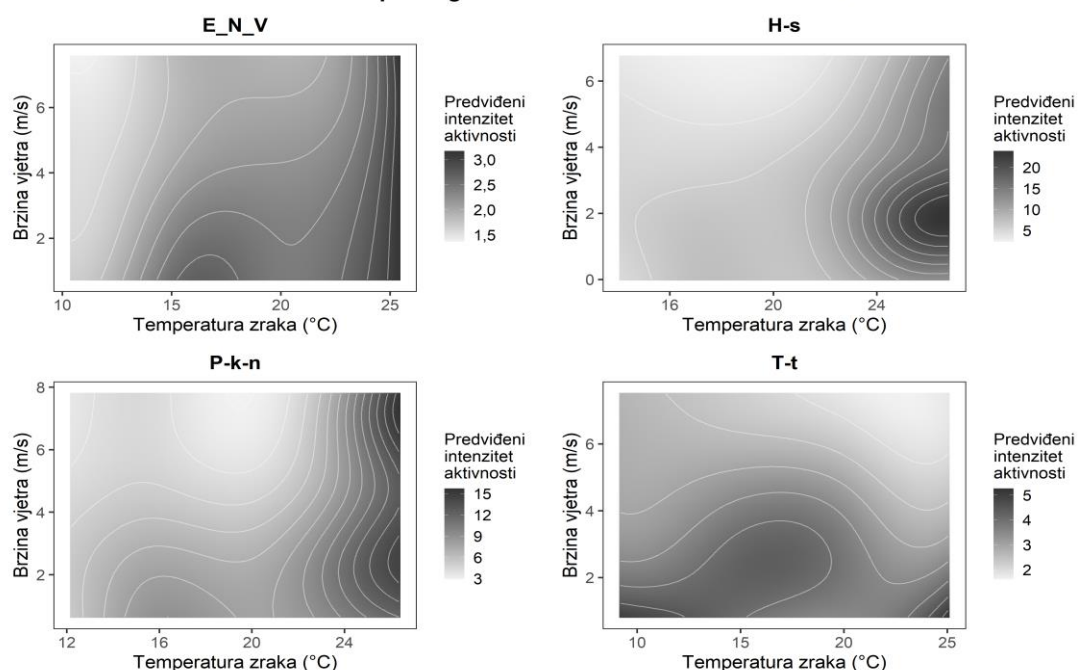
Prilog 10. Ukupni odgovor (predviđene vrijednosti) modela za interakcije mikroklimatskih prediktora dominantnih vrsta i fonetskih skupina šišmiša – Set B

Završni dvodijelni (*hurdle*) GAMM model za sva opažanja za koja postoje dostupna istovremena mjerenja temperature zraka, brzine vjetra, relativne vlažnosti i atmosferskog tlaka (set B). Dominantne vrste i fonetske skupine: E_N_V – *Eptesicus* / *Nyctalus* / *Vespertilio*, H-s – *Hypsugo savii*, P-k-n – *Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii*, T-t – *Tadarida teniotis*. Prikaz je ograničen na raspon između 5. i 95. percentila vrijednosti pojedinih prediktora.

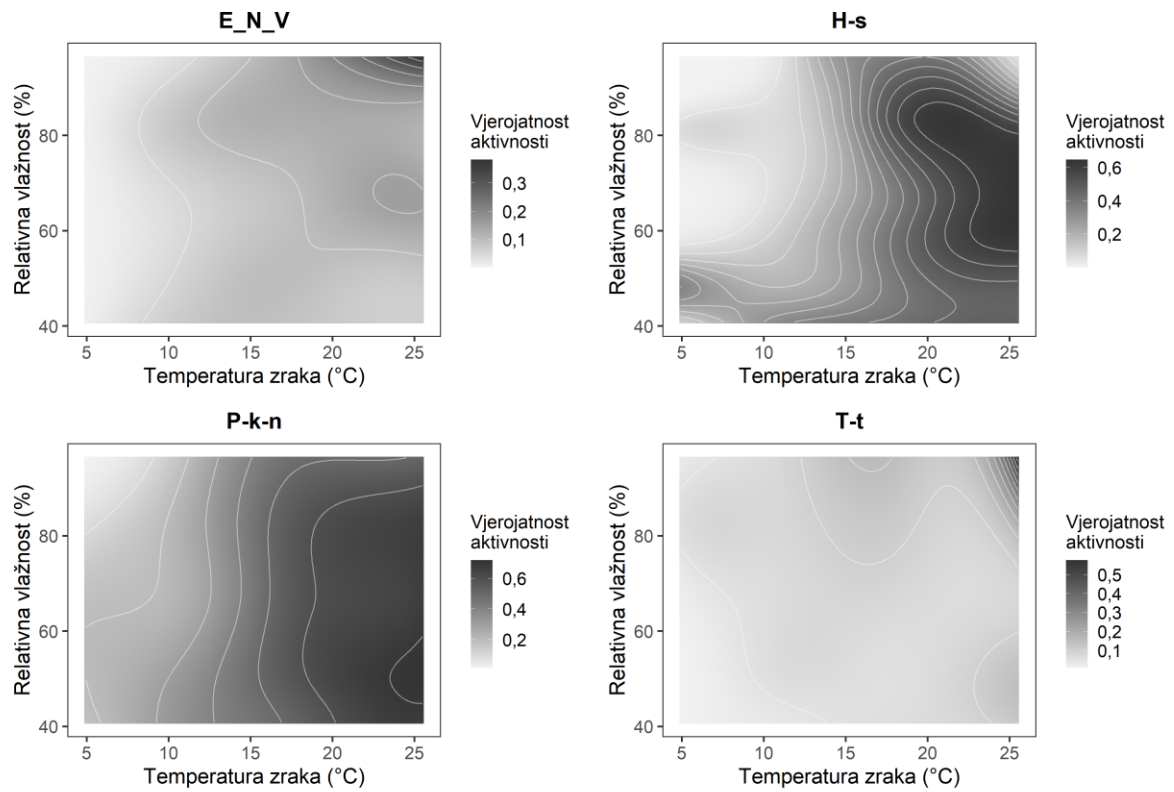
Set B — ukupni odgovor modela — Pojava aktivnosti



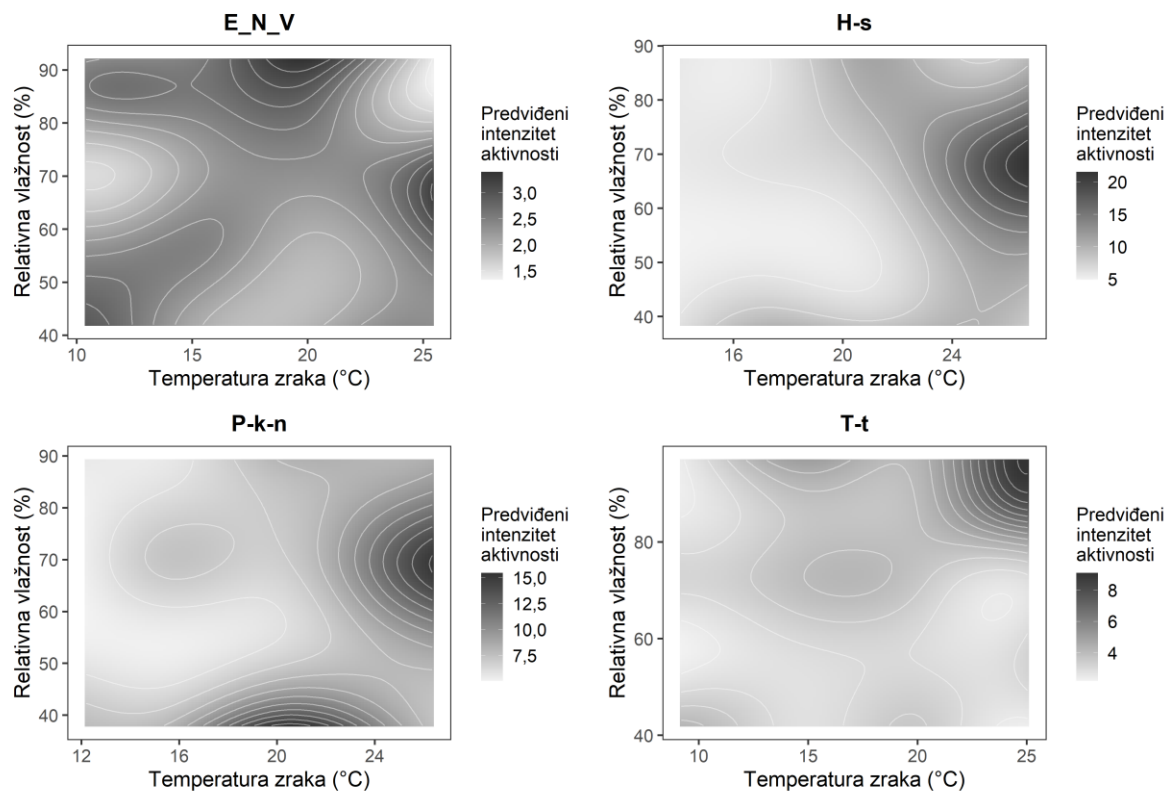
Set B — ukupni odgovor modela — Intenzitet aktivnosti



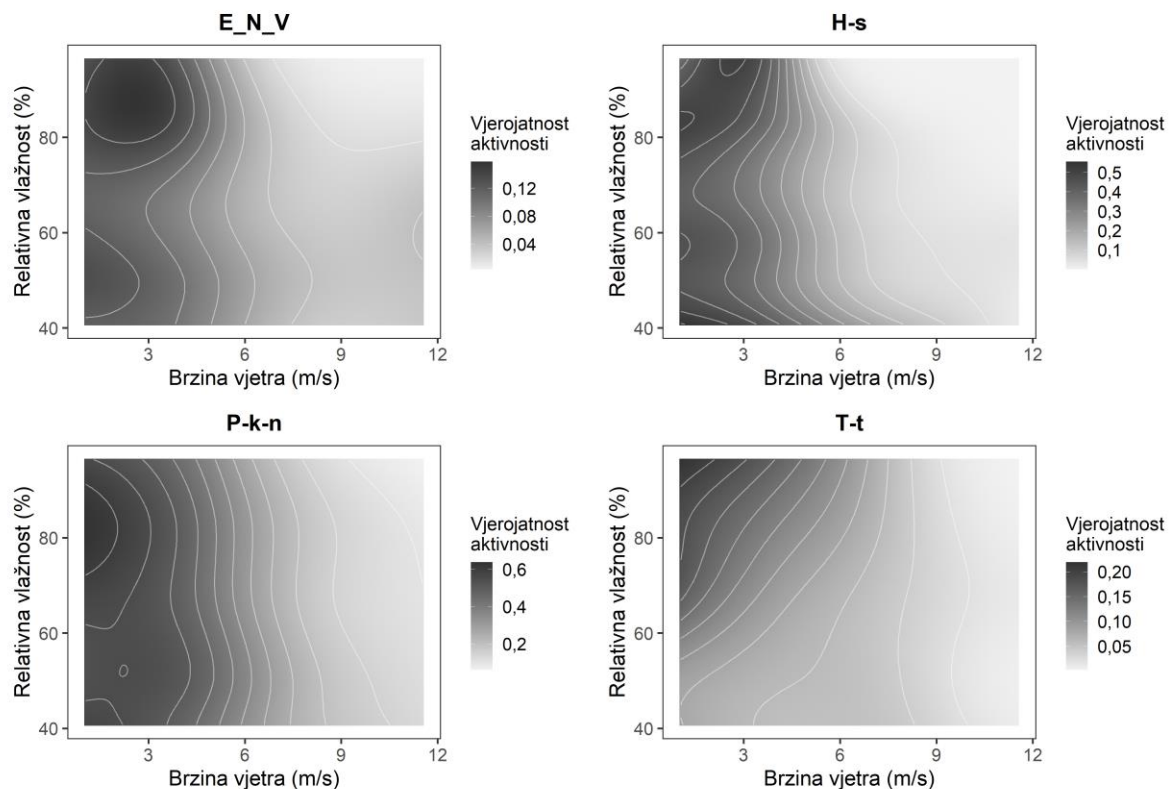
Set B — ukupni odgovor modela — Pojava aktivnosti



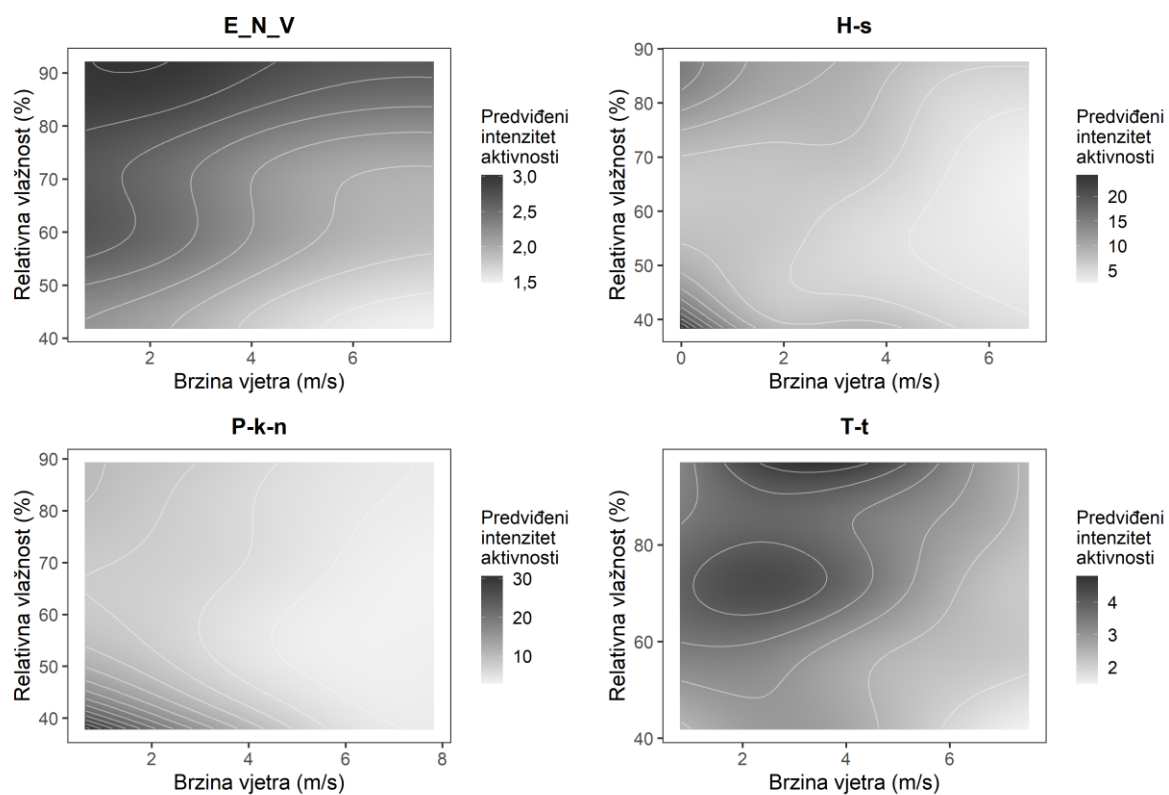
Set B — ukupni odgovor modela — Intenzitet aktivnosti



Set B — ukupni odgovor modela — Pojava aktivnosti



Set B — ukupni odgovor modela — Intenzitet aktivnosti



9 ŽIVOTOPIS

Dina Rnjak (rođ. Kovač) titulu magistre ekologije i zaštite prirode stekla je 2011. godine na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, s diplomskim radom „Eholokacija i morfologija krila u šišmiša vrsta *Nyctalus noctula* (Schreber, 1774) i *Nyctalus leisleri* (Kuhl, 1817) (Mammalia, Chiroptera)“.

Od 2011. godine radi na poslovima zaštite prirode, od čega više od 10 godina u tvrtki Geonatura d.o.o. kao voditeljica grupe za istraživanje šišmiša. Godine 2025. preuzima dužnost direktorice iste tvrtke, nastavljajući svoj stručni rad u području istraživanja faune šišmiša te procjena utjecaja na okoliš i prirodu.

Iskustvo u istraživanju šišmiša prikupila je kroz više od 90 projekata od 2007. godine u Hrvatskoj i susjednim zemljama, s ciljem praćenja unutar zaštićenih područja, istraživanja za potrebe procjene utjecaja planiranih zahvata na okoliš, praćenja tijekom rada vjetroelektrana te izrade i testiranja specifičnih mjera ublažavanja utjecaja. Od 2021. do 2023. godine, kao glavni stručnjak za šišmiše i koordinator projekta, sudjelovala je u izradi Nacionalnog programa praćenja faune šišmiša u Hrvatskoj.

Do sada je objavila 4 znanstvena i 14 stručnih radova te više od 20 usmenih i posterskih priopćenja na znanstvenim i stručnim skupovima. Članica je uredničkog odbora časopisa *Hypsugo – Journal of Bat Research in the Balkans* (ISSN 2490-3094) i međunarodne radne skupine za vjetroelektrane i populacije šišmiša (UNEP/EUROBATS). Jedna je od autorica publikacije *Publication Series No. 6: Guidelines for Consideration of Bats in Wind Farm Projects, Revision 2014* (UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn) te poglavlja *Mediterranean long-eared bat, Plecotus kolombatovici* u knjizi (J. Russ, ur.): *Bat Calls of Britain and Europe: A Guide to Species Identification* (Pelagic Publishing, UK).

Popis znanstvenih radova:

1. Fialas, P.C., Santini, L., Russo, D., Amorim, F., Rebelo, H., Novella-Fernandez, R., Marques, F., Dómer, A., Vella, A., Martinoli, A., Figurek, A., Tsoar, A., Sandor, A., Ibanez, C., Korine, C., Kerbiriou, C., Voigt, C., Mifsud, C., Jéré, C., Ridha, D., Preatoni, D., Hamidović, D., Tidenberg, E., Çoraman, E., Mathews, F., Lison, F., Joanna, F., Petersons, G., Loumassine, H., Garin, I., Csősz, I., Liira, J., Juste, J., Julien, J.F., Van Der Kooij, J., Josić, D., J., Aihartza, J., Eldegard, K., Phelps, K., Olival, K.J., Marina, K., Ancillotto, L., Grzegorz, L., Barti, L., Salazar, L.C., Bosso, L., Rodrigues, L., Hamel, L., Uhrin, M., Mas, M., Cerekovic, N., Toshkova, N., Roche, N., Kalda, O., Aizpurua, O., Georgiakakis, P., Kanuch, P., Presetnik, P., Bilgin, R., McKay, R.A., **Rnjak, D.**, Rnjak, G., R., Ireneusz, R., Sørås, R., Robert, S., Aulagnier, S., Kramer-Schadt, S., Gazaryan, S., Bücs, S., Yorulmaz, T., Stjernberg, T., Liukko, U., Nistoreanu, V., Vintulis, V., Radchuk, V., Puig-Montserrat, X., Bas, Y., Zgamaister, M., Zegarek, M., Zrnčić, V., Z., Razgour, O., 2025. **Changes in community composition and functional diversity of European bats under climate change.** Conservation Biology 39(4): e70025. <https://doi.org/10.1111/cobi.70025>
2. **Rnjak D.**, M. Janeš, J. Križan, O. Antonić 2023. **Reducing bat mortality at wind farms using site-specific mitigation measures: A case study in the Mediterranean region, Croatia.** Mammalia, 87(3) : 259–270.
3. Kipson M., M. Šálek, R. Lučan, M. Uhrin, E. Maxinová, T. Bartonička, M. Andreas, K. Kipson, A. Pušić, **D. Rnjak**, L. Nađo, I. Horáček 2018. **Foraging habitat, home-range size and diet of a Mediterranean bat species, Savi's pipistrelle.** Acta Chiropterologica, 20(2): 351–360.
4. **Kovač, D.**, D. Hamidović, N. Fressel, S. Drakulić 2011. ***Nyctalus lasiopterus* Schreber, 1780 (Chiroptera: Vespertilionidae): First record for Kornati archipelago and first recent capture for Croatia.** Mammalia.75: 97–101.